

-PN-ABE-994

SECADO DE MADERA ASERRADA

ESTE DOCUMENTO FORMA PARTE DE UNA SERIE DE INFORMES FINALES SOBRE EL DESARROLLO DE LAS TECNOLOGIAS INVESTIGADAS POR EL PROYECTO DE LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA, HASTA FINALES DE 1987.

EN UNO DE LOS ANEXOS SE ENCUENTRA LA LISTA COMPLETA DE ESOS INFORMES Y DE OTRAS PUBLICACIONES PREPARADAS POR EL PROYECTO.

ICAITI ESPERA QUE LA INFORMACION PRESENTADA EN ESTOS DOCUMENTOS SEA UTIL PARA LAS PERSONAS INTERESADAS EN UN MEJOR APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA.

Plano 79

INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION
Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL
- ICAITI -

**SECADO DE MADERA ASERRADA
SOLAR - COMBUSTION**

Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía
ICAITI-ROCAP AID No. 596-0089

1987



P R E S E N T A C I O N

EL INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION Y TECNOLOGÍA INDUSTRIAL (ICAITI) es un organismo regional de carácter tecnológico, creado por los cinco Gobiernos de Centroamérica, con la asistencia de las Naciones Unidas, para servir al desarrollo y a la integración económica centroamericana. El ICAITI persigue, entre otros, los siguientes objetivos fundamentales:

Realizar investigaciones tecnológicas para la utilización apropiada de materias primas regionales; desarrollar procesos de fabricación; elaborar nuevos productos y adoptar tecnologías mejoradas.

Desde su fundación en la ciudad de Guatemala, en enero de 1956, el ICAITI funciona como una entidad autónoma, de carácter internacional, no lucrativa, dedicada de lleno a impulsar el fomento del sector industrial de Centroamérica y, por ende, el incremento de su nivel productivo.

Durante los años de 1980 a 1987, el ICAITI llevó a cabo el Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía, con apoyo financiero de la Oficina Regional para Programas Centroamericanos (ROCAP) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AID). Los resultados del Proyecto están resumidos en una serie de informes como éste (ver Anexo A-12). El ICAITI espera que el contenido de esta serie de informes sea útil a los interesados en el uso de las técnicas mejoradas para aprovechar las fuentes renovables de energía.

El ICAITI cuenta con un equipo de técnicos en los siguientes campos: energía, desarrollo de pequeñas industrias y desarrollo industrial en general. Ofrece servicios de información, con acceso a redes computarizadas internacionales. Puede, asimismo, brindar, tanto a empresas como a instituciones o personas individuales: asistencia técnica, capacitación, evaluación; asesoramiento técnico en producción, normas y control de calidad; estudios de factibilidad, pruebas y análisis, investigación aplicada y otros servicios relacionados con las necesidades de la industria centroamericana.

Más información puede obtenerse directamente en:

ICAITI
Ave. Reforma 4-47
Zona 10,
Guatemala, Guatemala

Apartado Postal 1552
Telex: 5312-ICAITI-GU
Cable: ICAITI
Teléfonos 3106-31/35

I N D I C E

	RESUMEN	1
1.	ANTECEDENTES	2
2.	INTRODUCCION	4
3.	ENUNCIADO DEL PROBLEMA POR RESOLVER	5
	3.1 Antecedentes	
	3.2 Problema por resolver	
	3.3 Búsqueda de una solución	
	3.4 Selección de la solución aplicable	
4.	DESARROLLO DE LA SOLUCION	12
	4.1 Aspectos generales	
	4.2 Descripción de las actividades de investigación y desarrollo	
5.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACION Y DEL DESARROLLO	39
	5.1 Resultado de las pruebas piloto para secado solar.	
	5.2 Resultados de campo (secador ICAITI 87 y sus precursores).	
6.	EVALUACIONES DE LOS SECADORES DESARROLLADOS	41
	6.1 Evaluación técnica del secador ICAITI 87	
	6.2 Evaluación económica del secador ICAITI 87	
	6.3 Evaluación técnica del secador híbrido	
	6.4 Evaluación económica del secador híbrido	
	6.5 Impacto social y aceptación	
7.	CONSIDERACIONES FINALES	56
	7.1 Capacidad instalada y mercado global	
	7.2 Valor agregado	
	7.3 Empleos generados	
	7.4 Ahorro en combustible y electricidad	
	7.5 Beneficio social	
	7.6 Perspectivas futuras	
	7.7 Recomendaciones	
	7.8 Política futura sugerida	
	7.9 Conclusión	
8.	ANEXOS (Detalle en página siguiente)	61

ANEXOS

- A-1 Caso del primer secador experimental, Coatepeque 1.
- A-2 Informe de la prueba del secador Coatepeque 1.
- A-3 Comparación del secado solar artificial con otros métodos de secado.
- A-4 Cuadro resumen de secadores construidos según tecnología ICAITI.
- A-5 Campaña promocional.
- A-6 Recomendaciones para usar el secador ICAITI 87.
- A-7 Técnicos relacionados con la construcción de secadores solares para madera.
- A-8 Capacidad instalada
- A-9 Análisis del éxito obtenidos y sus orígenes.
- A-10 Contrapartes involucradas, función y efectividad.
- A-11 Bibliografía sumaria.
- A-11 Lista de informes técnicos y otras publicaciones del ICAITI correspondientes al Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía.

RESUMEN

Objetivo

Crear una técnica para secar madera aserrada, intermedia en costo, rapidez y complejidad, entre el secado al aire libre y el secado comercial convencional.

Problemática

El secado al aire libre es incompleto y lento, y tiene un costo, aunque parezca lo contrario. Los secadores comerciales usuales permiten un secado completo y rápido, pero requieren una elevada inversión inicial y un fuerte consumo de combustible, con lo que crean dependencia tecnológica del extranjero. De allí la necesidad de una técnica nueva que no tenga esos problemas.

Descripción breve de la técnica

Consiste en el uso de uno de dos tipos de secadores: a) el secador solar ICAITI 87 y b) la variante del secador ICAITI 87, el secador híbrido solar-combustión.

Dentro del secador solar ICAITI 87 se convierte en calor la energía radiante del sol y ese calor se aprovecha para calentar aire, el cual es recirculado activamente entre las piezas de madera que se desea secar. Sólo funciona en horas de sol.

El secador híbrido es un secador ICAITI 87, al que se le añade un quemador de aserrín o viruta que supe calor en el día, cuando hay insolación insuficiente durante períodos lluviosos o nublados, o por la noche.

Resultados

Los dos secadores son sencillos y prácticos, y con ellos se ha logrado reducir la humedad hasta el 8% en piezas de madera de hasta 2 1/2" de espesor, con pérdidas por agrietamiento menores del 2%; la duración del secado es de 5 a 20 días, según espesor, tipo y condición de las piezas.

El secador ICAITI 87 sólo consume electricidad a razón de 30 kW-h por cada 1 000 pies tablares secados; el costo del secador es de US\$ 1.20 por pie tablar de capacidad instalada; operar y mantener el secador cuesta US \$0.024 por cada pie tablar secado.

El secador híbrido consume electricidad a razón de 60 kW-h por cada 1 000 pies tablares secados; el costo del secador es de US\$ 2.40 por pie tablar de capacidad instalada; operar y mantener el secador cuesta US\$ 0.02 por cada pie tablar secado.

Las cifras anteriores se calcularon sobre la base de un secador de 2 000 pies tablares de capacidad.

Conclusiones y recomendaciones

El secado solar está al alcance de los recursos de los usuarios, y es bien aceptado y comprendido. Los secadores se operan en forma muy fácil. Se recomienda proseguir estudios sobre secadores híbridos.

1. ANTECEDENTES

La población de América Central depende en gran medida de los recursos forestales para satisfacer sus necesidades energéticas; en el año de 1984 la biomasa, principalmente la leña, constituyó la fuente del 65% de la energía total consumida en el istmo. Mientras tanto, según se estimó, la cubierta vegetal de bosque denso había quedado reducida al equivalente del 34 % del territorio total, a causa de la continua destrucción a que ha estado sometida; esta destrucción es tal que, de continuar al mismo ritmo, la hará desaparecer totalmente hacia principios del siglo entrante.

Un 90% de la leña es empleado para cocinar. El 10% restante, se emplea para la producción artesanal y tradicional de artículos como pan, ladrillos y tejas, cal, cerámica, sal, panela, y para algunos procesos de secado. Muchas de estas actividades artesanales suelen estar concentradas en zonas geográficas reducidas (por causa de la disponibilidad de materia prima, mercados, etc.) y por su fuerte demanda de leña, son causa de una deforestación localizada.

El 68% de la población total de la región, más de 12 millones de personas, depende de la leña para cocinar y, de no tomarse medidas drásticas oportunas, se prevé que este gran sector de la población se verá afectado por una aguda escasez de la única fuente energética de que dispone. En la actualidad, las consecuencias de esta escasez pueden apreciarse en el surgimiento de zonas críticas, en las que una familia tiene que gastar más de la tercera parte de sus ingresos para adquirir la leña que necesita para cocinar.

Ante esta problemática, en septiembre de 1979, el ICAITI y la Oficina Regional para Programas Centroamericanos (ROCAP) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AID), celebraron un convenio para la ejecución del Proyecto denominado "Leña y Fuentes Alternas de Energía".

Los dos objetivos generales que se fijaron para el Proyecto fueron: a) experimentar con árboles de crecimiento rápido y con patrones para su producción (a cargo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE), y b) desarrollar, demostrar y diseminar tecnologías que permi-

tieran hacer un uso más racional de la leña y aprovechar nuevas fuentes económicas de energía, tales como la energía solar y el biogás (a cargo del ICAITI). Se establecieron como prioritarias las necesidades de las zonas rurales y de las pequeñas industrias.

El Proyecto a cargo del ICAITI duró ocho años. En este período, se han probado más de cien aplicaciones de tecnologías, de las cuales se llevaron a etapa de demostración unas cincuenta. En una evaluación final, se concluyó que el Proyecto ha logrado un gran impacto traducido en el ahorro de 200 000 metros cúbicos de leña, como resultado de la adopción de tecnologías eficientes para el uso de la leña y de tecnologías que la reemplazan por energía solar; también se dió impulso a 400 pequeñas industrias, con la generación de empleos para más de 1500 personas. Alrededor de 13 000 familias se beneficiaron directamente del Proyecto, y fueron innumerables los beneficiados indirectos.

Hay que señalar que el desarrollo de una tecnología responde a factores dinámicos y, por lo tanto, está en continua evolución. Tiene que adaptarse a las necesidades de los usuarios y estas necesidades pueden variar con el tiempo y con los inevitables cambios en las condiciones sociales y económicas de las poblaciones. Por lo tanto, no existe una "tecnología apropiada" en sí; lo que se trata de hallar es la mejor solución a un problema, aprovechando los recursos disponibles y dentro del contexto socioeconómico del momento.

2. INTRODUCCION

Este informe trata del secado de madera aserrada mediante energía solar o mediante una combinación de energía solar y energía de combustión, y describe los trabajos hechos por el ICAITI en este campo, como parte del Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía.

Se describe el desarrollo de dos secadores para madera aserrada; uno de ellos funciona exclusivamente con energía solar y se llama Secador ICAITI 87. El otro secador que es una variante de éste, funciona con energía solar y un quemador de viruta o aserrín, y se llama Secador Híbrido Solar-combustión. También se incluye descripción de las pruebas realizadas, las conclusiones sobre ellas, los materiales necesarios, los costos y algunas consideraciones sobre los beneficios que puede obtenerse de los secadores.

No se incluyen instrucciones detalladas para construcción ni para operación de los secadores, las cuales pueden consultarse en otras publicaciones del ICAITI que se enumeran en el Anexo A-12.

Este informe está dirigido a las personas, empresarios e instituciones interesadas en el secado de la madera para uso industrial, o que tengan interés en conocer las experiencias del ICAITI en esa materia.

3. ENUNCIADO DEL PROBLEMA POR RESOLVER.

3.1 Antecedentes

Como parte del proyecto "Leña y Fuentes Alternas de Energía" se tenía previsto hacer pruebas de secado de leña en secadores solares sencillos, con el fin de aumentar el aprovechamiento de la energía disponible en ese combustible. Con base en las pruebas se concluyó que el secado de leña no resulta rentable y se decidió probar con otros materiales de mayor valor comercial por unidad de peso, como granos, pescado, frutas y madera aserrada. A finales de 1983 surgió así la idea de investigar la tecnología del secado solar de madera aserrada.

Se inició la investigación dentro del campo de la aplicación de la energía solar y posteriormente se vió que era conveniente combinar la energía solar con energía calorífica obtenida de la combustión de aserrín o viruta, en un secador "híbrido". Con el desarrollo de estas tecnologías se buscaba ofrecer a los propietarios de talleres de carpintería, ebanistería, artesanía en madera y aserraderos de maderas finas, un secador sencillo, eficiente y de precio razonable (a su alcance), que les permitiera ahorrar tiempo y combustible.

El resultado final de la investigación es el secador llamado ICAITI 87 y el secador híbrido solar-combustión.

3.2 Problema por resolver.

Desde tiempos remotos, el hombre se dió cuenta de que hacer objetos con madera húmeda ocasiona muchos problemas, ya que entre otros inconvenientes se presentan dificultades en las operaciones de corte, cepillado, lijado, pulido, pintado o barnizado de las piezas.

Además, un objeto hecho con madera húmeda, mientras se va secando, se tuerce, se despega o se agrieta, lo que le da muy mal aspecto o lo hace inservible.

El secado es, pues, la operación previa más importante en un taller de artículos de madera y, quizá, una de las más difíciles y de las menos comprendidas.

3.2.1 Secado natural al sol

Tradicionalmente, el secado de la madera aserrada se hace en patios más o menos amplios, donde sopla viento y caen rayos de sol. En estas condiciones, el secado ocurre en períodos de tiempo prolongados, de modo que el propietario se ve precisado a almacenar volúmenes grandes de madera, mucho mayores que su consumo real, lo que representa una apreciable cantidad de dinero invertido e inmovilizado. La madera así acumulada está expuesta a deterioro o a pérdida por incendios, robos, o pudrición. Y aún cuando esto no es evidente, el secar al aire libre tiene un costo, que de acuerdo al tipo y grueso de la madera, al clima, etc., varía desde Q0.07 a Q 0.23 (US\$ 0.028 a US\$ 0.092) por pie tablar (Guatemala, 1987 Sección 6.2.1).

Por otra parte, en condiciones óptimas, con este método sólo es posible obtener madera con contenido de humedad mínimo del 14%; la madera con ese grado de humedad no es recomendable para ebanistería, ni para fabricación de puertas, ventanas, parqué, o artesanías ni, en general, para trabajos finos.

En resumen, el método de secar madera al aire es lento, incompleto y tiene un costo. Sin embargo, la madera así secada tiene demanda, y su precio es entre 11.1 y 12.5 % más alto que el de la madera húmeda. (Sección 6.2.1).

3.2.2 Secado por los procesos comerciales usuales.

Existen secadores convencionales o comerciales (tipos secador de vacío, deshumecedor, secador vapor-diesel-eléctrico). Con estos modelos es posible reducir el contenido de humedad de la madera hasta el 6%, según el caso, y en períodos de tiempo breves (5-30 días); pero como son equipos complejos, su costo y los gastos de funcionamiento son elevados (Q5 a Q10 por cada pie tablar (pt) de capacidad instalada, y de Q0.18 a Q0.30 por pie tablar (pt) secado cifras que equivalen, respectivamente a US\$ 2.00 a US\$ 4.00 y US\$ 0.072 a US\$ 0.12). Y a causa de que algunos consumen cerca de 35 galones de diesel por cada 1 000 pt que secan y, otros, hasta 500 kW-h por cada 1 000 pt, su empleo resulta prohibitivo para muchos dueños de talleres pequeños y medianos.

3.3 Búsqueda de una solución

El ICAITI diseñó dos secadores de características intermedias entre el sistema de secado natural al sol y el de secado comercial.

3.3.1 Objetivo de la investigación. Se buscó obtener un secador que satisficiera estos requisitos:

- a. Costo bajo, accesible al pequeño productor
- b. Bajo consumo de energía convencional
- c. Construcción fácil con materiales locales
- d. Adaptable a diferentes volúmenes de producción
- e. Funcionamiento sencillo
- f. Mantenimiento fácil sin necesidad de técnicos extranjeros.
- g. Reducción de la humedad de la madera hasta un grado apropiado al uso a que se destina
- h. Corta o mediana duración del secado
- i. No contaminante del medio.
- j. Operación independiente del clima, si posible.

3.3.2 Orígenes de la investigación

Entre las actividades programadas desde un principio por el proyecto, para el equipo del ICAITI especializado en aplicaciones de la energía solar, estaba el secado solar de leña (1980-1982). Las investigaciones realizadas en este campo sirvieron como precursoras para el desarrollo del secado de madera aserrada, desarrollo que se inició en 1983.

3.3.3 Investigación bibliográfica

Como primer paso, en 1983, se hizo una consulta de publicaciones sobre el secado y la energía solar. En el Anexo A-11 se enumeran algunas de ellas; a continuación se citan las más aprovechables:

A) Fuentes locales

- 1 Valladares, Jaime "Secado Solar de Madera" ICAITI (Guatemala), 1981
2. Instituto Tecnológico de Cartago, Costa Rica. Solano, Roberto; "Diseño y Construcción de un secador solar de madera". 1980

B. Fuentes extranjeras:

1. Brace Research Institute (Canadá). Prototipos de tipo solar en EEUU, Filipinas, India, Madagascar, Puerto Rico, Uganda, Japón y Sudáfrica.
2. Virginia Tech. Trabajos de Eugene Wengert

3. Forest products service station (W. Virginia). Trabajos de Donal Cuppett.
4. Forest products service. (Madison, Wisconsin) Resúmenes de varios autores.
5. Forest products laboratory (AID). Trabajos de Tschernits & Simpson.

En estos documentos se describen varios tipos de secadores solares para madera; en algunos predomina el aspecto del aprovechamiento de la energía solar y se trata poco sobre la técnica de secado; en otros, ocurre lo opuesto. En todos los secadores descritos se usa ventilación artificial y equipos de control de humedad más o menos complejos, que es difícil conseguir en Centroamérica.

Esos secadores tienen capacidades de 1000 a 4000 pt, y costo moderadamente alto. En general, los equipos que son necesarios tendrían que ser importados, lo mismo que algunos materiales requeridos para el montaje.

3.4 Selección de la solución aplicable

3.4.1 Base técnica general

El secado solar consiste en la aplicación combinada de dos técnicas independientes que, por separado, ya han sido completamente probadas:

El secado dinámico de la madera
El calentamiento solar de aire

El secado dinámico requiere que se llenen, como mínimo, las siguientes tres condiciones:

Que entre las piezas de madera haya una circulación de aire con velocidad de 0.25 a 3.5 m/s.

Que el aire circulante tenga un grado de humedad determinado.

Que la madera no reciba sol directo.

Por su parte, el calentamiento solar de aire requiere la conversión de la energía radiante del sol en calor, y que este calor se transfiera al aire.

La solución básica adoptada para el secado de madera aserrada (secador ICAITI 87) consiste en la aplicación combinada de estas dos técnicas, dentro de un recinto cerrado, el secador solar. En el secador híbrido, la energía solar se combina también con energía obtenida de la combustión de aserrín.

3.4.2. Cómo es un secador solar.

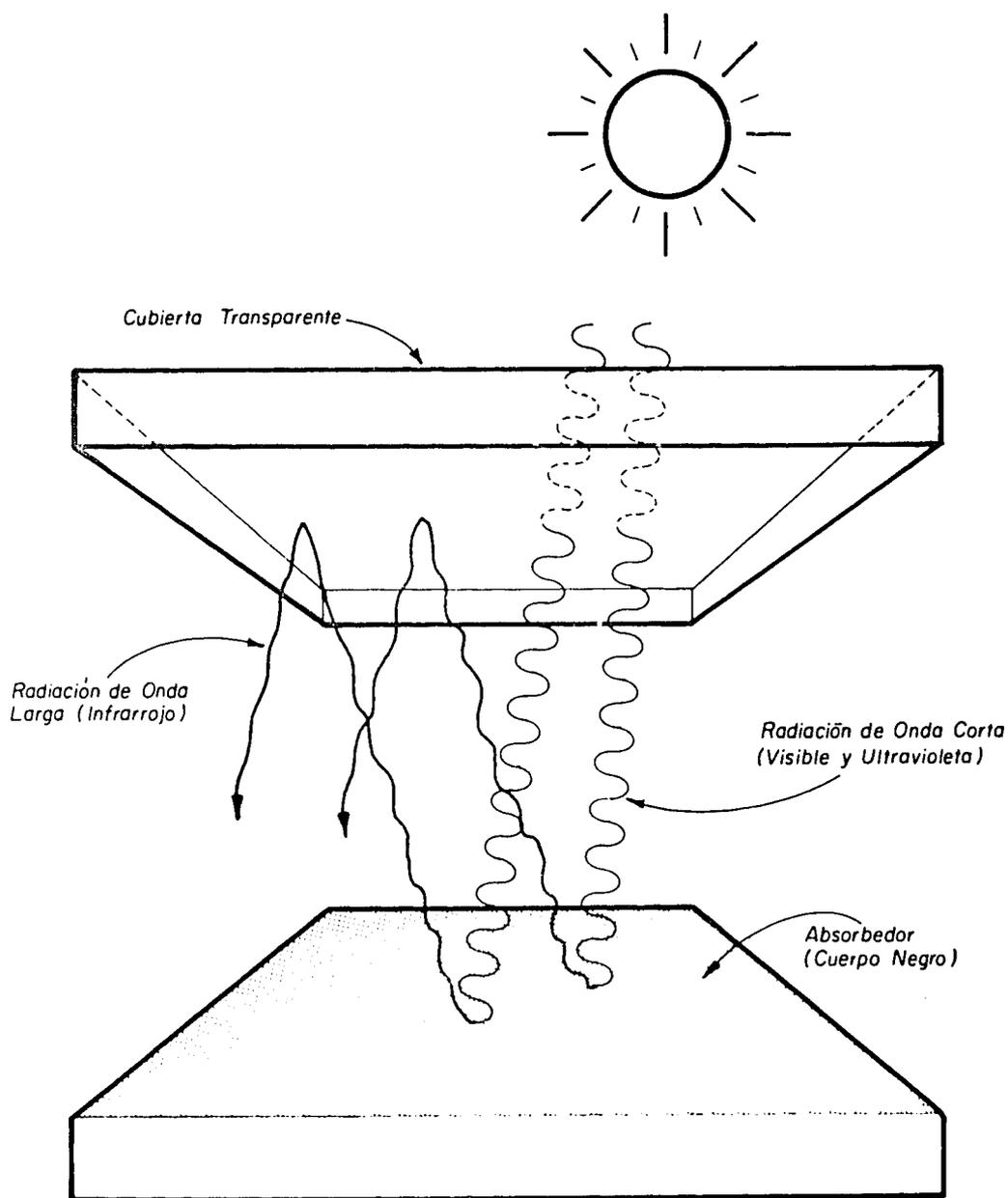
Físicamente, un secador solar consta de dos cámaras o ambientes bien delimitados:

1. El calentador de aire (situado en la parte superior)
2. La cámara de secado (situada debajo del calentador); en ella se apila ordenadamente la madera húmeda que se desea secar.

El calentador es una cámara limitada por arriba por una cubierta transparente (lámina de fibra de vidrio o acrílico), y por debajo, por una lámina galvanizada pintada de negro, llamada "absorbedor". Ver Ilustración No. 1.

La energía solar radiante atraviesa la cubierta transparente (transmitancia de 0.8 a 0.9), y calienta el absorbedor. Una parte de la energía que choca con el absorbedor es reflejada por éste, pero en forma de radiaciones de mayor longitud de onda que la de la radiación incidente. La cubierta transparente funciona como un filtro selectivo, ya que no deja salir esas radiaciones de mayor longitud de onda, aunque permita el paso de las radiaciones de corta longitud. Esas radiaciones quedan atrapadas y vuelven a incidir varias veces sobre la lámina negra, aumentando su temperatura. Como consecuencia del aumento de temperatura del absorbedor, éste comunica calor al aire que circula sobre él, y lo calienta. Todo este fenómeno, que se representa esquematizada en la Ilustración No. 1, se conoce como "efecto de invernadero".

Cuando sube la temperatura de una masa de aire, su contenido relativo de humedad disminuye, con lo que aumenta su capacidad de absorber humedad de la madera; sin embargo, el aire caliente tiende a acumularse en la parte superior del secador y es preciso obligarlo a bajar para que pase a la cámara de secado, y esto se logra mediante ventilación forzada. La ventilación forzada cumple dos funciones: mueve el aire caliente hacia la cámara de secado, y desplaza el aire ya humedecido que hay en ella, para hacerlo pasar por el calentador, o bien, para expulsarlo fuera del secador.



EFEECTO DE INVERNADERO

La radiación solar de onda corta penetra por la cubierta transparente y calienta el absorbedor, el cual emite radiaciones de mayor longitud de onda que no pueden atravesar la cubierta y que quedan atrapadas dentro de la cámara.

La velocidad de la circulación de aire debe ser entre 0.25 y 3.5 m/s pues velocidades mayores pueden originar daños en la madera, mientras que velocidades muy bajas hacen muy lento el proceso de secado. La ventilación forzada se hace, pues, imprescindible.

El aire circula varias veces por la pila de madera y finalmente es expulsado a través de ventanillas debidamente ubicadas. En las unidades más recientes de secadores tipo ICAITI 87, la expulsión del aire que ya ha hecho su trabajo, se logra por medio de chimeneas que tienen compuertas de regulación.

3.4.3 Cómo es un secador híbrido

Físicamente, el secador híbrido es un secador solar, con la adición de un quemador de aserrín (o viruta). Durante el día funciona igual que un secador solar simple y, por la noche, funciona con el quemador. Si durante el día la insolación resulta insuficiente (por nubosidad o lluvia), se usa el quemador. Pueden usarse combinadamente ambas fuentes de calor, si el tipo de secado lo amerita.

El quemador de aserrín produce calor que se transfiere al aire encerrado dentro de la cámara de secado, mediante un sistema de intercambio de calor; ese aire ya calentado circula entre las piezas de madera puestas a secar.

4. DESARROLLO DE LA SOLUCION

4.1 Aspectos generales

4.1.1. Cronología de la investigación

Fase 1. Experimentación con el secado de leña, que originó la idea de secar madera aserrada y de la cual parte toda la investigación realizada (1980-1982). Ver informe especial sobre secado de leña.

Fase 2. Etapa de preparación, que incluye: consultas bibliográficas, un diseño preliminar y búsqueda del primer taller para instalar un secador experimental para pruebas reales (noviembre 1983-junio 1984).

Fase 3. Diseño, construcción, puesta en marcha y pruebas del primer prototipo real, llamado Coatepeque 1. El Proyecto dió asistencia técnica para el montaje, y suministró parte del equipo, mientras que el usuario aportó materiales de construcción, mano de obra, sitio y madera para secar (junio 1984 - diciembre 1984).

Fase 4. Perfeccionamiento del modelo Coatepeque 1, y construcción en Honduras y Costa Rica de unidades para demostración del modelo ya mejorado, que se designó Coatepeque 2. Para las unidades de demostración el Proyecto dió parte del equipo y asistencia técnica para construcción (marzo 1985 - agosto 1985).

Fase 5. Demostraciones prácticas. El Proyecto dió asistencia técnica, pero no equipo. Comienzan a surgir réplicas del modelo de secador Coatepeque 2 (septiembre 1985 - diciembre 1986).

Fase 6. Desarrollo del modelo de secador ICAITI 87, versión perfeccionada del modelo Coatepeque 2, en la que se logró sustituir equipo que había que importar, por dispositivos hechos en el país. El secador ICAITI 87 es más barato que su predecesor y más eficiente (octubre - diciembre 86).

Fase 7. Adaptación del secador ICAITI 87 al secado industrial en gran escala, mediante el acoplamiento de cuatro secadores de este modelo, para obtener un secador grande de 10 000 pt de capacidad (octubre 86 - enero 87).

Fase 8. Nueva etapa experimental. Se prueba la incorporación al secador ICAITI 87 de un calentador auxiliar para aire, accionado por un quemador de aserrín y viruta, que permite trabajar sin interrupción en horas sin sol y en lugares y época de poca insolación ("secador híbrido") (julio 86 - julio 87).

Fase 9. Diseminación sistemática del modelo ICAITI 87 y su variante industrial de 10 000 pt. Consistió en seminarios efectuados en Guatemala, Costa Rica y Honduras (total de asistentes, 127). Actualmente, a los nuevos interesados se les da asistencia técnica al costo como parte de los servicios técnicos de ICAITI (1987 en adelante).

4.1.2 Estado actual de la tecnología desarrollada

4.1.2.1 El secador ICAITI 87

Funcionamiento. Este secador no requiere el uso de los complicados programas de secado que son típicos de los secadores convencionales. Usa como fuente de calor la energía del sol, que es gratuita y limpia y, así, su funcionamiento es barato y no contaminante. Para forzar la ventilación consume una pequeña cantidad de electricidad.

Se pueden secar lotes de 2 500 pt, de piezas de madera con grueso desde 0.5" hasta 2.5", y reducir su humedad hasta un 8%. El tiempo de secado es de un décimo a un quinto del requerido para el secado al aire libre, y el doble o triple del tiempo necesario en un secador convencional. Los tiempos normales de secado del modelo ICAITI 87 son:

Duración, en días, del secado de madera hasta el 8% de humedad, en el secador ICAITI 87				
Esesor	Madera Tipo	Duración del secado solar. madera no presec.	Duración del presecado.	Duración del Secado solar madera presec
1/2	Dura	8 - 10	6 - 7	4 - 5
1/2	Blanda	8	5	4
1	Dura	20 - 25	15 - 20	12 - 15
1	Blanda	18 - 20	15	10 - 12
2	Dura	45 - 50	30	30
2	Blanda	25 - 40	25	25

El cuadro anterior corresponde a rutinas normales de secado, para secar madera "verde" hasta un 8-10% de humedad (base seca).

Costo. La construcción del secador cuesta entre Q2 y Q3 (US \$0.80 a US\$ 1.20) por pie tablar de capacidad instalada. La operación y el mantenimiento cuestan aproximadamente Q0.06 (US\$ 0.024) por cada pie tablar secado. Un secador con capacidad de 2 500 pt tiene un costo total de US\$ 2400 en Guatemala, 1987.

Disposición. La disposición del secador, sus dimensiones generales y los elementos de que consta se indican en las ilustraciones No.2, No. 3 y No 4. La Ilustración No 5 muestra cómo ocurre la circulación de aire cuando el secador está cargado, así como los dimensiones del "plenum" y de la cámara de succión. La capacidad del secador es de 2500 pt por tanda.

Materiales usados. El piso es una losa de concreto reforzado, de 10 a 20 cm de grueso, hecha sobre una película plástica que se coloca directamente sobre el suelo y que sirve de barrera para la humedad.

Sobre el piso se construye un muro de ladrillo o de bloques de poma, de 30 a 40 cm de alto, que sirve de base para las paredes del secador.

Las paredes consisten en una armazón hecha de madera rústica, forrada por el lado interior con duelas de madera, horizontalmente dispuestas, y por fuera, con láminas onduladas de hierro galvanizado, dispuestas verticalmente. El espacio entre los forros se rellena con material aislante (cascabillo de arroz o aserrín seco).

Sobre las paredes se coloca el techo transparente, inclinado hacia el sur, y hecho de lámina ondulada de fibra de vidrio.

En cada pared angosta se coloca una puerta de dos hojas, que abra hacia afuera, y que se fabrica con armazón de madera forrada igualmente que las paredes. También las puertas se rellenan con material aislante.

En la parte inferior de la pared norte se practican dos ventanas que tienen persianas fijas de madera. En cada una de estas ventanas se coloca una barrera regulable, para el viento exterior.

Por dentro, y a dos metros de altura sobre el piso, se coloca el absorbedor, consistente en láminas onduladas de metal, pintadas de negro.

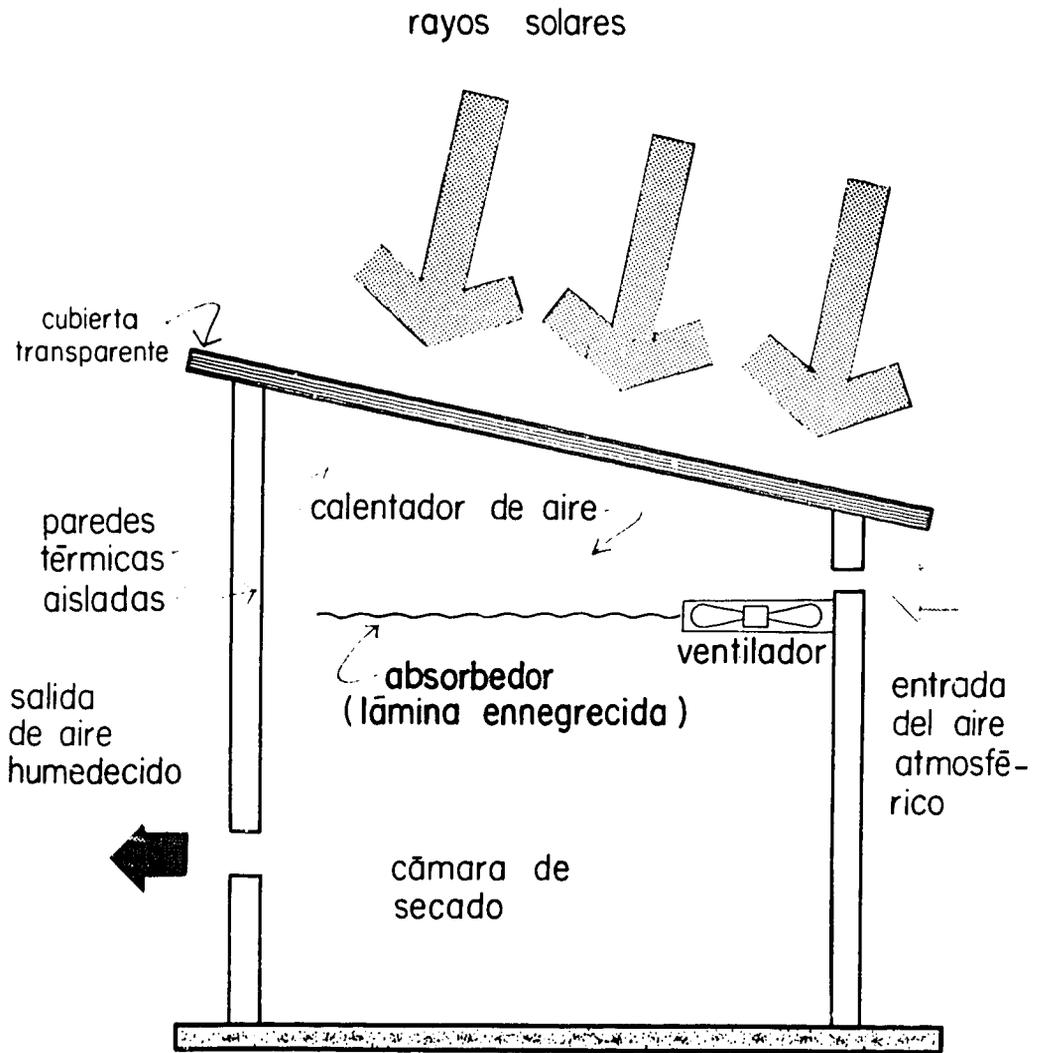


ilustración No. 2 PARTES DE UN SECADOR

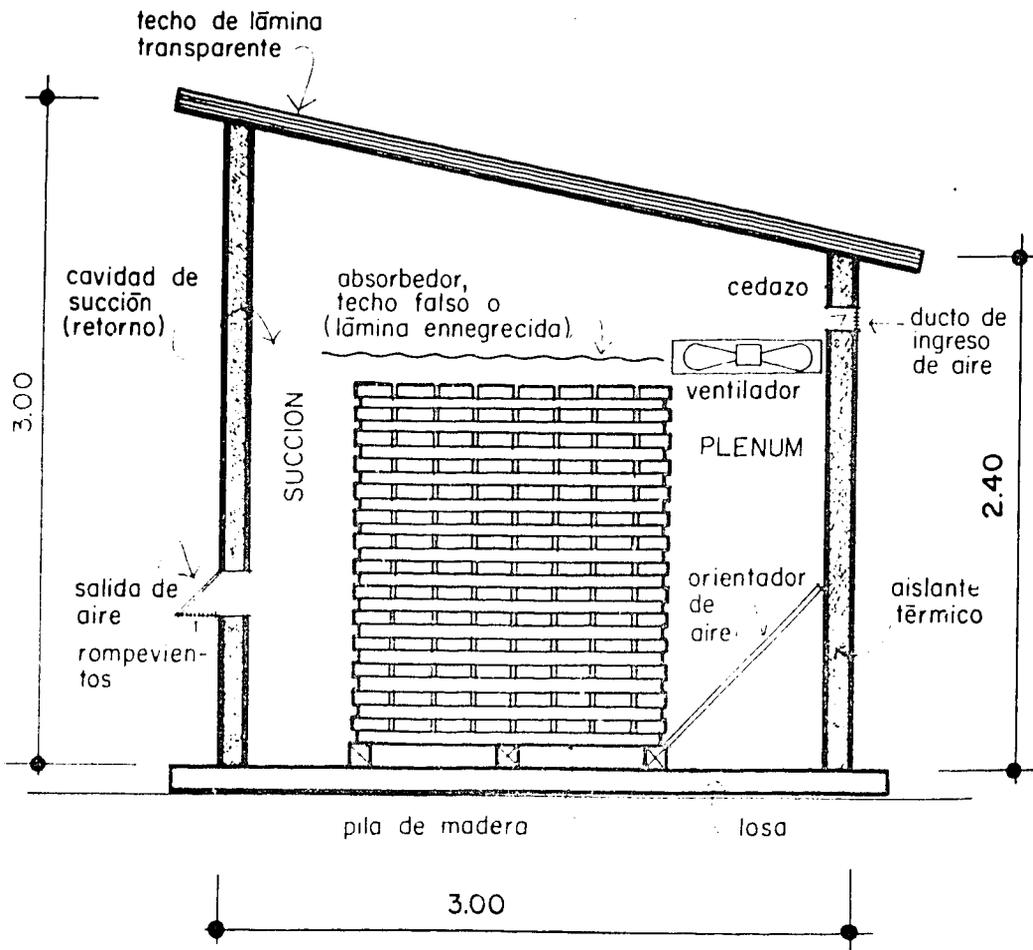


ilustración No. 3 CORTE DEL SECADOR ICAITI 87

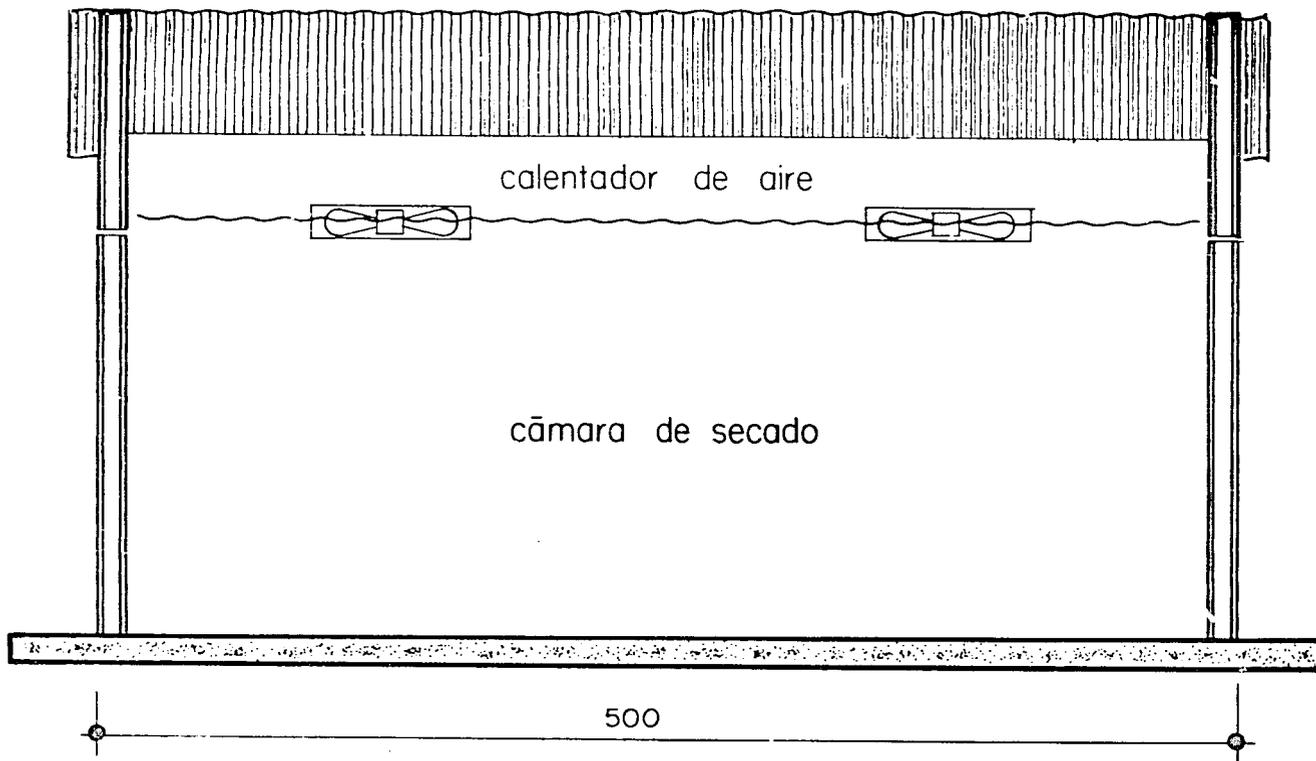
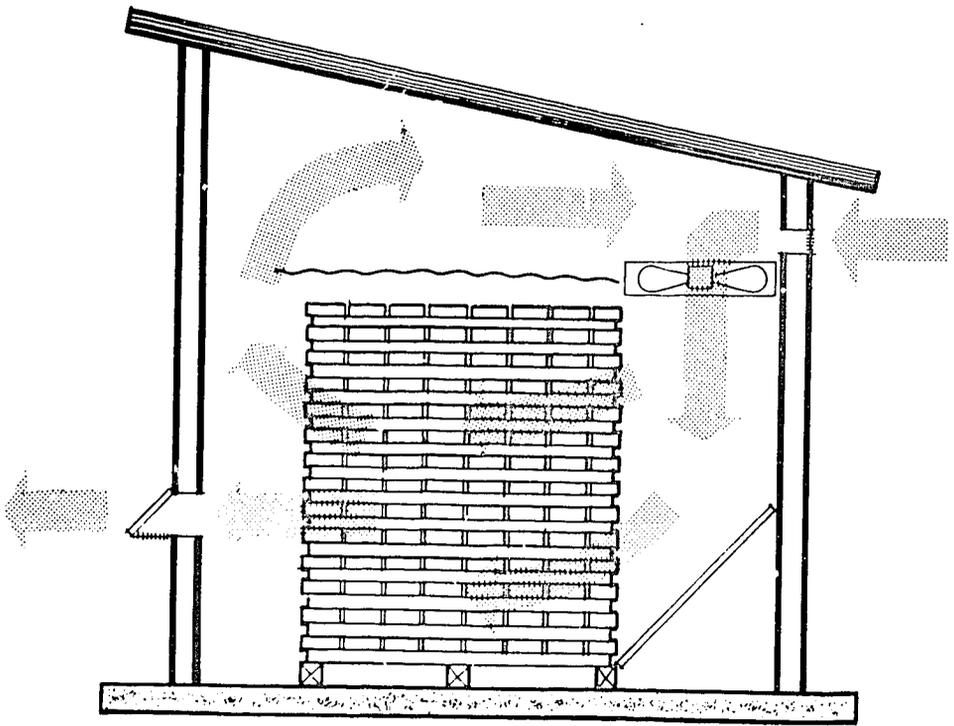


ilustración No. 4 CORTE DEL SECADOR ICAITI 87



**Ilustración No. 5 CIRCULACION DE AIRE
EN EL SECADOR ICAITI 87**

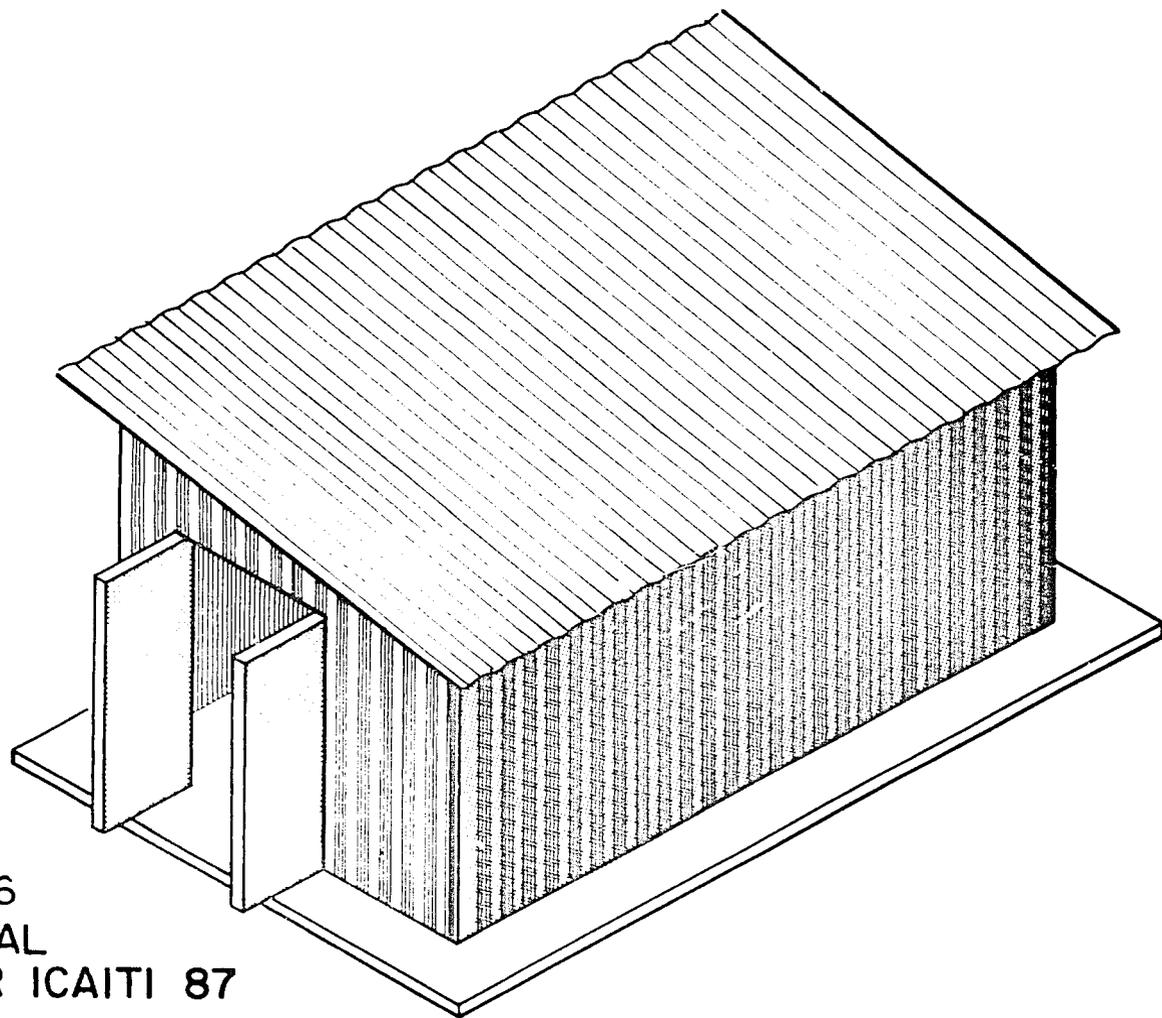


ilustración No6
VISTA GENERAL
DEL SECADOR ICAITI 87

A la misma altura y dispuestos horizontalmente, se colocan dos ventiladores eléctricos, cuyos motores pueden ser colocados adentro del secador o afuera del mismo (ver sección 4.2.1).

En la cara interior de la pared sur se apoyan pedazos de pliegos de madera terciada, debidamente inclinados, y que funcionan como deflectores del aire circulante.

En la parte superior de la pared sur se practican dos aberturas por las que entra el aire al secador, succionado por los ventiladores.

Se recomienda colocar en los secadores iluminación eléctrica y un extinguidor de incendios.

4.1.2.2 Posibilidades futuras del secador ICAITI 87

El ICAITI está técnicamente en condiciones de diseñar secadores solares con capacidad de hasta 10 000 pies tablares por tanda, de dar asistencia técnica para la construcción y de proveer capacitación a los operadores.

El secador ICAITI 87 aún es susceptible de mejoras y modificaciones, según las condiciones de cada caso; por ejemplo, los ventiladores importados podrían ser sustituidos por unidades fabricadas en talleres locales; y así, otros materiales pueden ser sustituidos si resulta más ventajoso. El secador funciona eficientemente, tal como se ha probado, si no se alteran sus dimensiones ni su organización general, aunque se cambien los materiales de que esté construido.

4.1.2.3 El secador híbrido

Funcionamiento. Este secador tiene como unidad base un secador ICAITI 87 y, en lo que respecta al aprovechamiento de energía solar, funciona igual a lo descrito en la sección 4.1.2.1. En lo que respecta a la energía de combustión, tiene adosado un quemador continuo de aserrín que produce gases calientes de combustión que circulan por un intercambiador de calor y que luego salen por una chimenea. El intercambiador de calor es una cámara rodeada por una camisa dentro de la que circula aire fresco succionado del exterior, que en ella se calienta y que luego pasa a una tubería radiadora colocada en la cámara de secado.

Se puede operar el secador híbrido solamente con energía solar, sólo con el quemador de aserrín, y también con ambos sistemas simultáneamente.

Es posible secar lotes de 2500 pt de piezas de madera con gruesos desde 0.5" hasta 2.5", y reducir su humedad hasta el 8 %.

Cuando se usa la energía solar durante las horas de sol y la energía de combustión durante las noches (o en horas de poca insolación), el tiempo de secado es aproximadamente un tercio del tiempo requerido por el secador ICAITI 87 en las mismas condiciones.

La tabla siguiente muestra los tiempos de secado normales para el secador híbrido:

Duración, en días, del secado de madera hasta el 8% de humedad, en el secador híbrido				
Espesor	Madera Tipo	Duración del secado solar. madera no presec.	Duración del presecado.	Duración del Secado solar madera presec
1/2	Dura	3 - 4	2 - 3	1.5 - 2
1/2	Blanda	3	2	1.5
1	Dura	7 - 8	5 - 7	4 - 5
1	Blanda	6 - 7	5	3 - 4
2	Dura	15 - 17	10	10
2	Blanda	8 - 12	8	8

Rutinas normales de secado de madera "verde", secada hasta un 8-10 % de humedad (Base seca).

Disposición. La disposición del secador, en lo que corresponde a la unidad básica (secador ICAITI 87) se indica en las ilustraciones No.2, No.3 y No.4. La Ilustración No. 14 muestra los elementos necesarios para la combustión del aserrín y para la circulación de las corrientes de aire que ingresan a éste y que llegan a la cámara de secado.

Materiales usados. En la sección 4.1.2.1 se describe lo necesario para unidad básica (secador ICAITI 87). La cámara de combustión se hace de ladrillo sobre una losa de concreto. El equipo auxiliar del quemador es el siguiente:

Campana de radiación e intercambiador

Alimentador de aserrín tipo tornillo sinfín

Arreglo de poleas para variaciones de velocidad

Ventilador para forzar aire dentro del secador

Tolva para aserrín, tuberías y accesorios.

Motor de 1/4 Hp y 1759 rpm

4.1.2.4 Posibilidades futuras del secador híbrido

El ICAITI puede diseñar secadores con capacidad de hasta 20 000 pies tablares por tanda y dar asistencia técnica para la construcción, así como capacitación a los operadores.

Las pruebas hechas con este modelo que combina la energía solar y la energía de combustión han resultado muy halagadoras, por lo que se perfila como el secador ideal para competir con los secadores convencionales y, es muy posible que tenga un mercado amplio y seguro.

4.2 Descripción de las actividades de investigación y desarrollo.

En todo trabajo experimental el proceso de diseño es dinámico; así la tecnología de los secadores solares para madera está en constante evolución en el ICAITI, en busca de optimizar los factores de costo, sencillez de construcción y de operación. El Cuadro Sinóptico muestra las fases de la evolución del diseño.

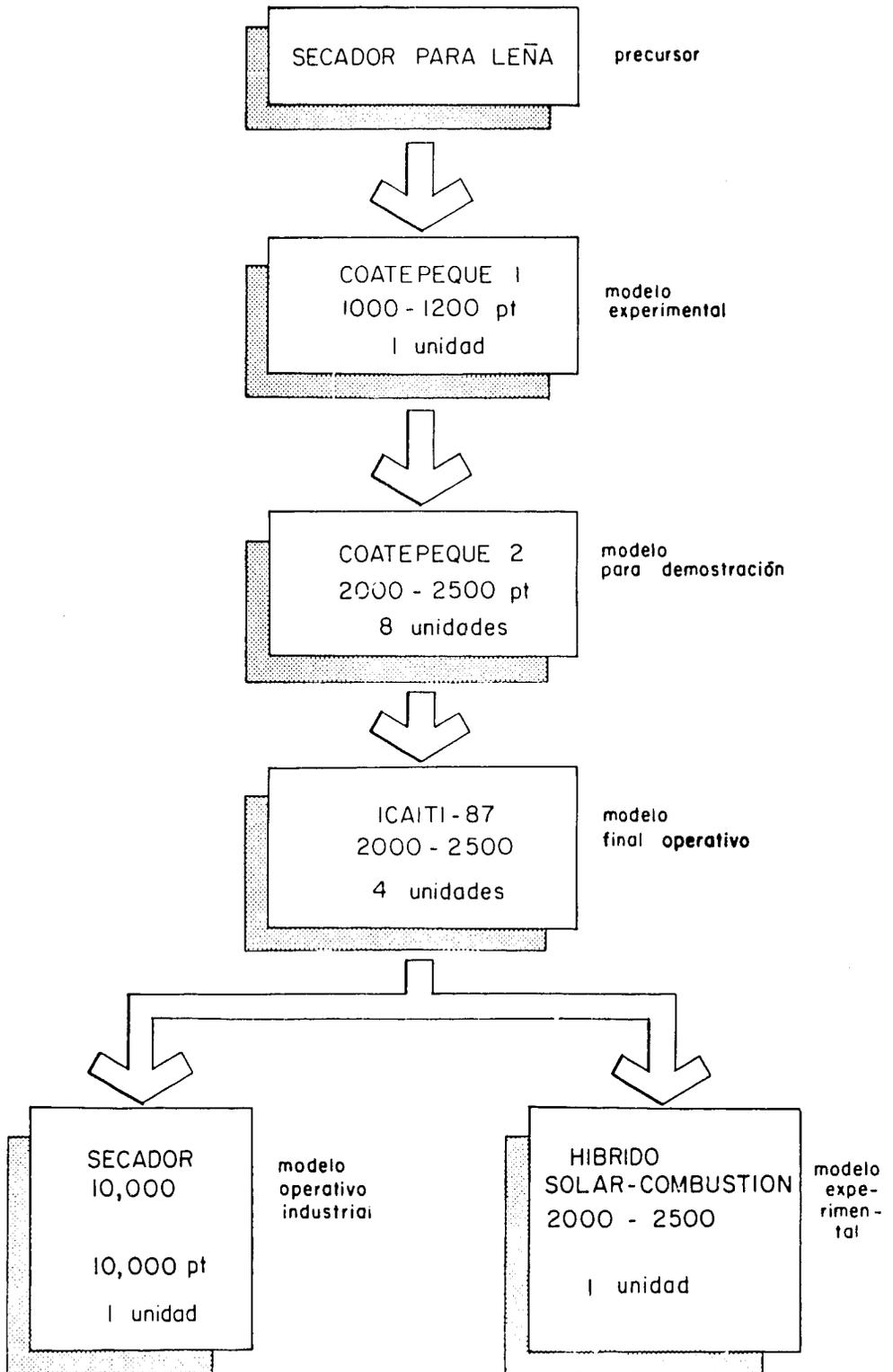
4.2.1 Historial de la evolución de los secadores

Primera etapa. Primer modelo experimental, denominado "Coatepeque 1" (ver ilustraciones No 7 y No 8):

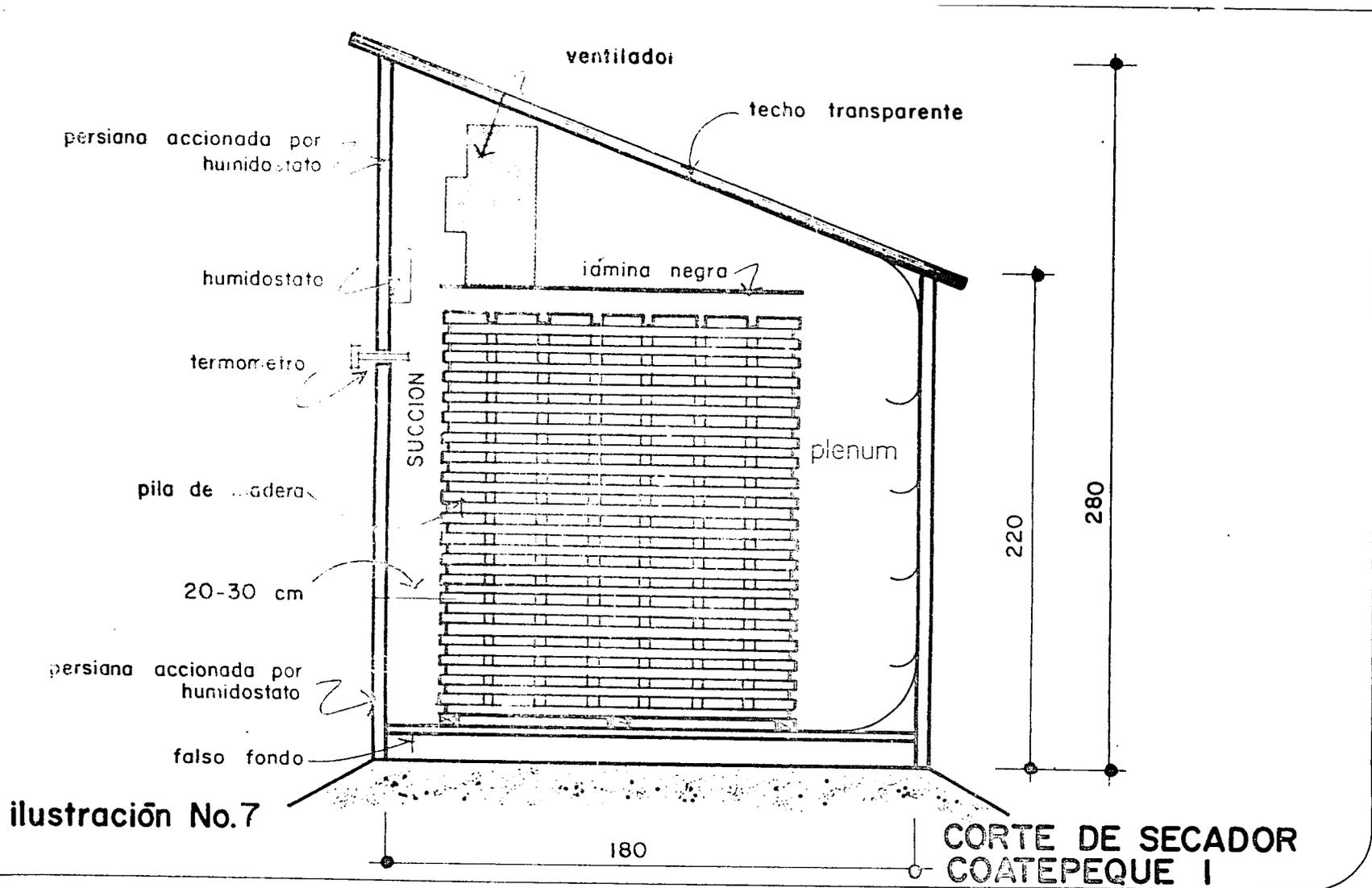
El secador medía, por fuera, 2 por 5 metros y su altura media era 2.5 metros. La armazón y los forros de las paredes se hicieron de madera rústica. Tenía una sola puerta, dos ventiladores de 4 000 pies cúbicos por minuto cada uno, en posición vertical (sobre el absorbedor), un humidostato que accionaba cuatro pequeños motores que abrían o cerraban igual número de persianas. El absorbedor (o falso techo) quedó colocado a 1.8 m del piso. El techo transparente se hizo de lámina de fibra de vidrio.

La primera dificultad que se tuvo fue la estrechez de la cámara de secado (1.8 m), porque al colocar una pila de apenas 1.2 metros de ancho, quedaba espacio muy reducido para que el aire bajara y se distribuyera, lo que producía una ventilación deficiente.

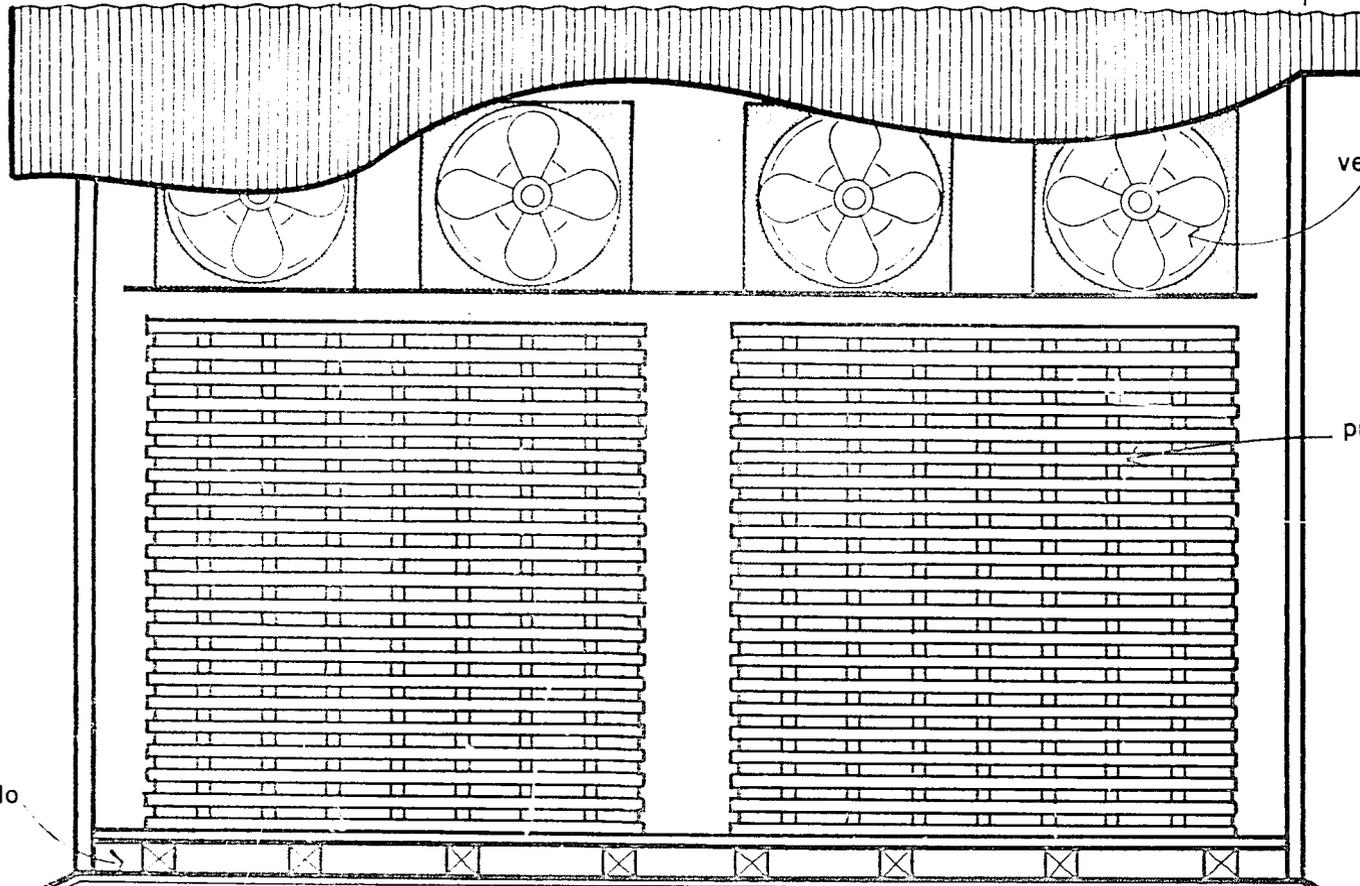
Aunque sí se logró que el aire tuviera la temperatura y la humedad relativa adecuadas para el secado, la velocidad de circulación del aire en la pila resultaba muy baja. Para corregir esto último, se hizo la prueba de reducir el ancho



CUADRO SINOPTICO. Sección 4.2



500



ventilador

pila de madera

falso fondo

ilustración No. 8 CORTE DE SECADOR COATEPEQUE I

de la pila de madera, pero eso no bastó. Entonces, se procedió a instalar otros dos ventiladores, en posición vertical. Así se logró que el aire soplara sobre la pila con una velocidad de 0.75 m/s, aunque resultó que el flujo no era uniforme en todos los puntos, tal como convenía. Esto fue corregido después de varios días de ensayos, al aumentar la separación entre la pared sur ("plenum") y la pila, e instalar en esa pared unos deflectores para el aire.

La capacidad de este secador era de 1 000 a 1 200 pt por tanda. En este secador se realizó un experimento completo de secado para reunir datos que permitieran proseguir con la investigación (Ver Anexo A-2).

Segunda Etapa. Modelo Operativo "Coatepeque 2" (Ver ilustraciones No 9 y No 10):

Este modelo era esencialmente de las mismas características del Coatepeque 1, pero con dimensiones distintas y con algunos cambios. Para evitar el problema de la estrechez, se construyó de 2.7 m de ancho, 5.25 de largo y 2.7 m de altura media. El falso techo se colocó a 2.0 m sobre el suelo. Se instalaron dos puertas. El techo transparente se hizo de lámina ondulada de fibra de vidrio transparente e incolora, con lo que se facilitó el montaje; además, la lámina usada tiene mayor resistencia mecánica, mejor permeabilidad óptica y un mayor poder de aislamiento térmico, si se compara con la lámina lisa del mismo material.

El forro exterior de las paredes se hizo de lámina ondulada de hierro galvanizado, por ser un material más durable que la madera. Se instaló un humidostato, tal como se hizo en el Coatepeque 1; y se colocaron cuatro persianas, pero éstas eran accionadas por sólo dos motorcitos (y no cuatro como en el modelo precedente), pues se unieron con palancas las persianas dos a dos.

Como el ancho interior resultó de 2.5 m, ya fue posible colocar una pila de 1.5 m de ancho, con un "plenum" de 0.7 m y una cavidad de succión de 0.3 m de ancho, lo que permitió una excelente circulación del aire.

Se instalaron sólo dos ventiladores, y se colocaron en posición horizontal, a la altura del absorbedor. Con este arreglo, según el cual los ventiladores soplan hacia el "plenum" directamente, se consiguió que la velocidad de circulación del aire fuera de 1.25 m/s (que debe compararse con la obtenida en el modelo Coatepeque 1, que era de 0.75 m/s, con cuatro ventiladores). Con esta mejora, y con el "plenum" ancho, la distribución de aire mejoró y fue posible usar deflectores planos (más sencillos que los empleados en

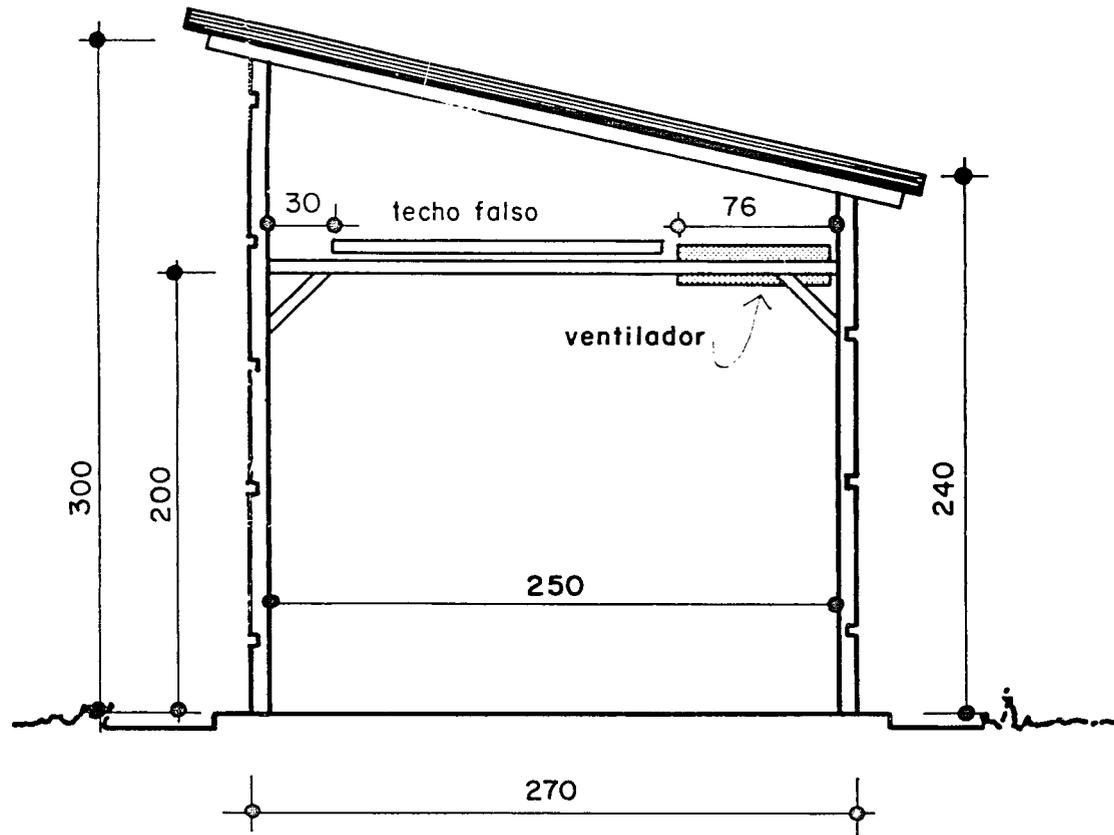


ilustración No. 9 CORTE DE SECADOR SOLAR COATEPEQUE 2

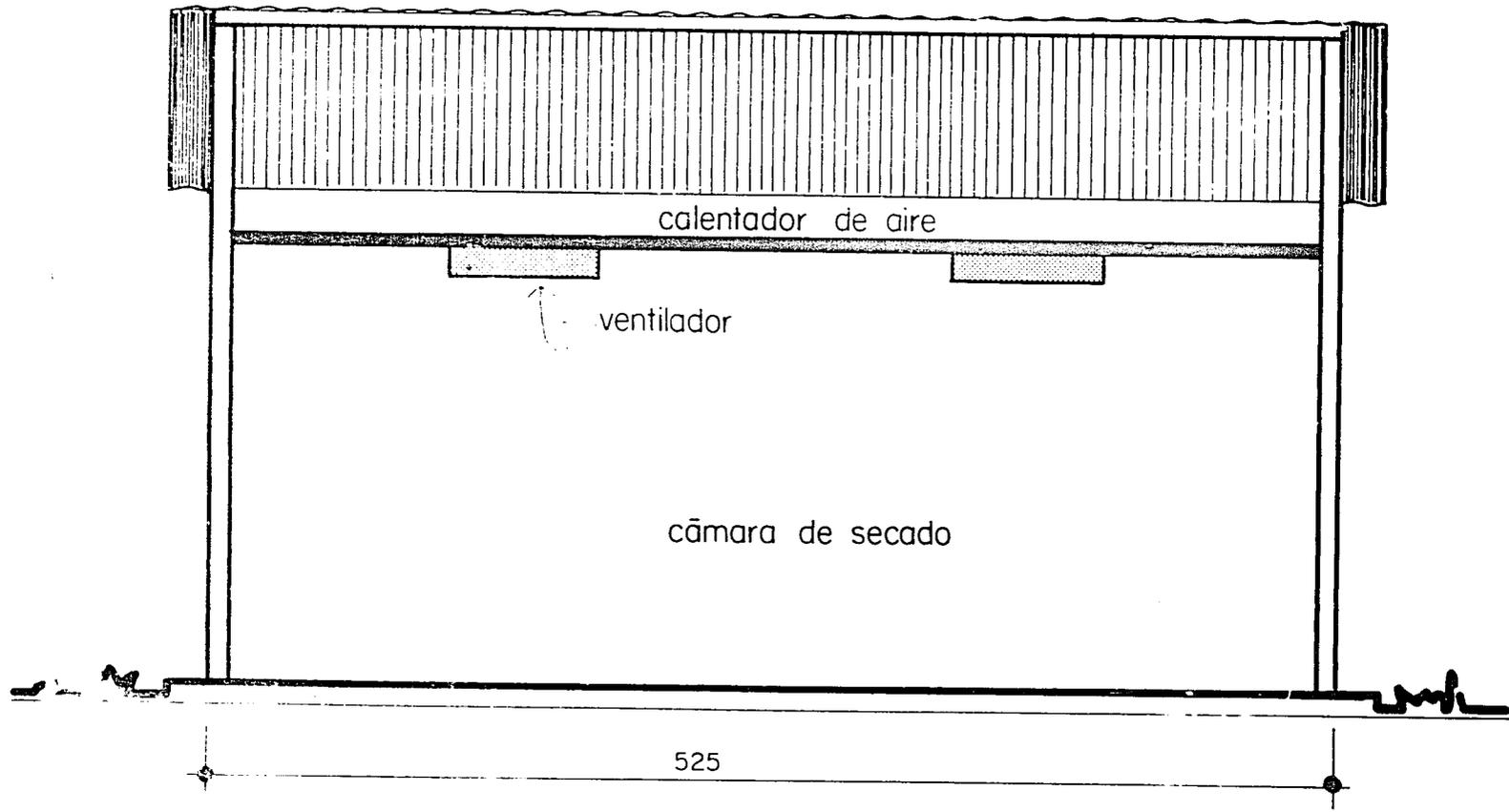


Figura No.10 CORTE DE SECADOR SOLAR COATEPEQUE 2

el modelo Coatepeque 1). La capacidad de este modelo es de 2 500 pt por tanda, para madera de 1" de espesor.

Sin embargo, resultó que el humidostato no se acoplaba al ritmo del calentamiento y aun cuando los motores y las persianas funcionaban bien, el humidostato no impedía que la humedad disminuyera dentro del secador por debajo de los valores deseados. Esto llamó la atención sobre el papel del humidostato en el trabajo del secador, y se estudió su efecto real; se halló que era innecesario para secadores solares como el Coatepeque 2, en los que el proceso es autorregulado y no tan rápido como en los secadores convencionales, en los que un humidostato resulta indispensable.

Tercera Etapa. Secador ICAITI-87 (Ver ilustraciones No 2 al No 6):

Este modelo que es, en general, semejante al Coatepeque 2, tanto en los materiales usados, como en la disposición, mide por fuera 3.0 m de ancho por 5.25 m de largo, por 2.7 m de altura media. Debido a que en el modelo Coatepeque 2 se comprobó que el humidostato resultaba innecesario, en este modelo no se usó ese dispositivo, ni persianas, ni motorcitos que las accionaran; en su lugar se instalaron ductos, ventilas y chimeneas para controlar el flujo del aire. Se instalaron dos ventiladores. La capacidad de este modelo es de 2 500 pt por tanda (para madera de 1" de espesor).

Cuarta Etapa. Desarrollo del secador híbrido

Al secador ICAITI 87 se le incorporó un sistema auxiliar de secado de aire, a base de combustión de aserrín y viruta, que permite que el proceso de secado se realice en épocas u horas de poca insolación. En los secadores en que se incorpora el sistema de combustión, los motores de los ventiladores se instalan fuera del secador; en los secadores simples, los motores se instalan adentro.

El punto central del desarrollo del secador híbrido era el diseño del quemador de aserrín y viruta, porque en la unidad base (el secador ICAITI 87) ya estaban resueltos casi todos los problemas.

Se buscó información escrita sobre el poder calorífico del aserrín y la viruta, y sobre los quemadores que pudieran usarse, pero se halló que, aunque los aserraderos y los talleres de carpintería producen grandes cantidades de esos desechos, no existía un diseño para un quemador que pudiera aprovecharse.

El primer paso en el desarrollo del quemador fue construir una unidad de laboratorio que permitiera hacer pruebas y obtener datos preliminares sobre funcionamiento, calor obtenido y otras características pertinentes. La primera unidad de laboratorio se muestra en la ilustración No. 11A, y funcionaba según el proceso de "cama fluida" (aserrín en suspensión aérea), el cual ofrece las mayores ventajas en la combustión de partículas sólidas, ya que se puede fijar un tiempo de residencia que sea el exactamente adecuado para lograr una combustión satisfactoria.

Se ensayaron varias formas del quemador y, finalmente, se adoptó una cámara con la forma de cono invertido que resultó ser la que dió mejores resultados (Ilustración 11B).

Cuando se probó el modelo de quemador cónico junto con el secador ICAITI 87, se instaló un ventilador que empujaba el aire hacia la cámara de combustión, para producir la cama fluida. Aunque la combustión resultó satisfactoria, se tuvo el problema de que el aire arrastraba muchas partículas de aserrín no quemadas, o parcialmente quemadas, hacia la tubería radiadora colocada dentro del secador. Esto daba un rendimiento bajo, ya que sólo se aprovechaba una parte del aserrín suministrado al quemador. Ver Ilustración No. 12.

Para corregir ese problema, se cambió la posición del ventilador de modo que, en vez de empujar el aire hacia el quemador, lo succionara (Ilustración No. 13); se instaló un ciclón para retener las partículas de aserrín que volaran.

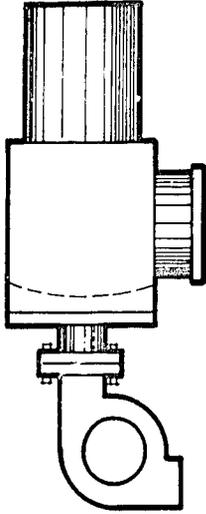
Los cambios hechos produjeron buenos resultados, pero a causa de las temperaturas producidas en la cámara de combustión, fue necesario cambiar el cono metálico por una cámara de ladrillo sobre una base de concreto.

Las pruebas hechas con el quemador demostraron que la cámara de intercambio de calor no calentaba bien el aire, por lo que se decidió sustituirla por una cámara de radiación con una camisa alrededor; se diseñó el sistema de modo que los gases de combustión tuvieran tiro natural, y el ventilador se usó para hacer circular el aire en el espacio anular formado por la cámara de radiación y la camisa. Con este arreglo, el aire se calentaba bien e ingresaba a la cámara de secado ya caliente y seco.

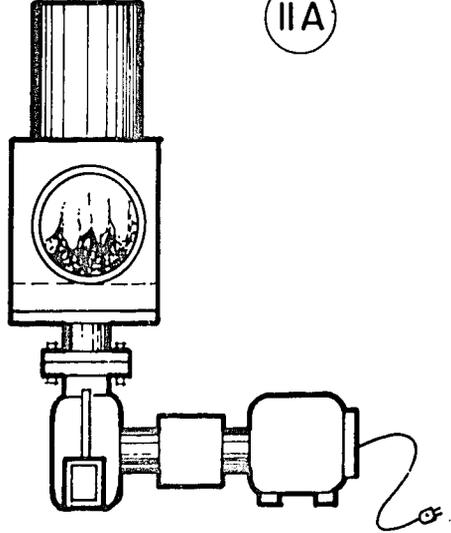
Esta es la forma final del sistema de combustión de aserrín, tal como se muestra en la Ilustración No. 14.

Ilustración No. II QUEMADORES DE ASERRIN

DISEÑO INICIAL

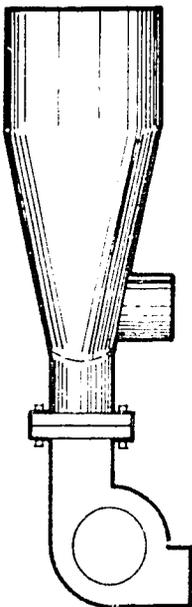


Vista Lateral

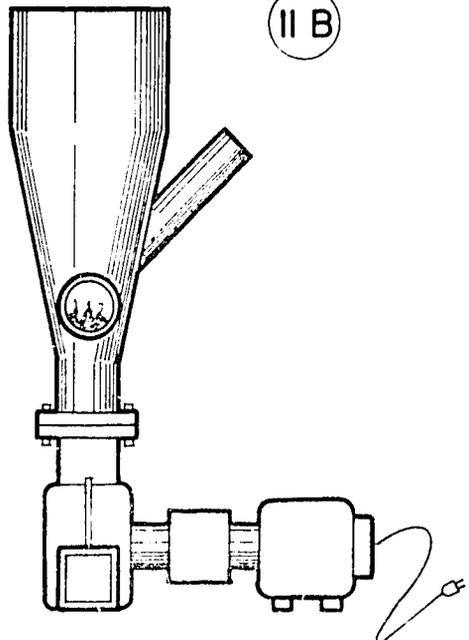


Vista Frontal

DISEÑO MODIFICADO



Vista Lateral



Vista Frontal

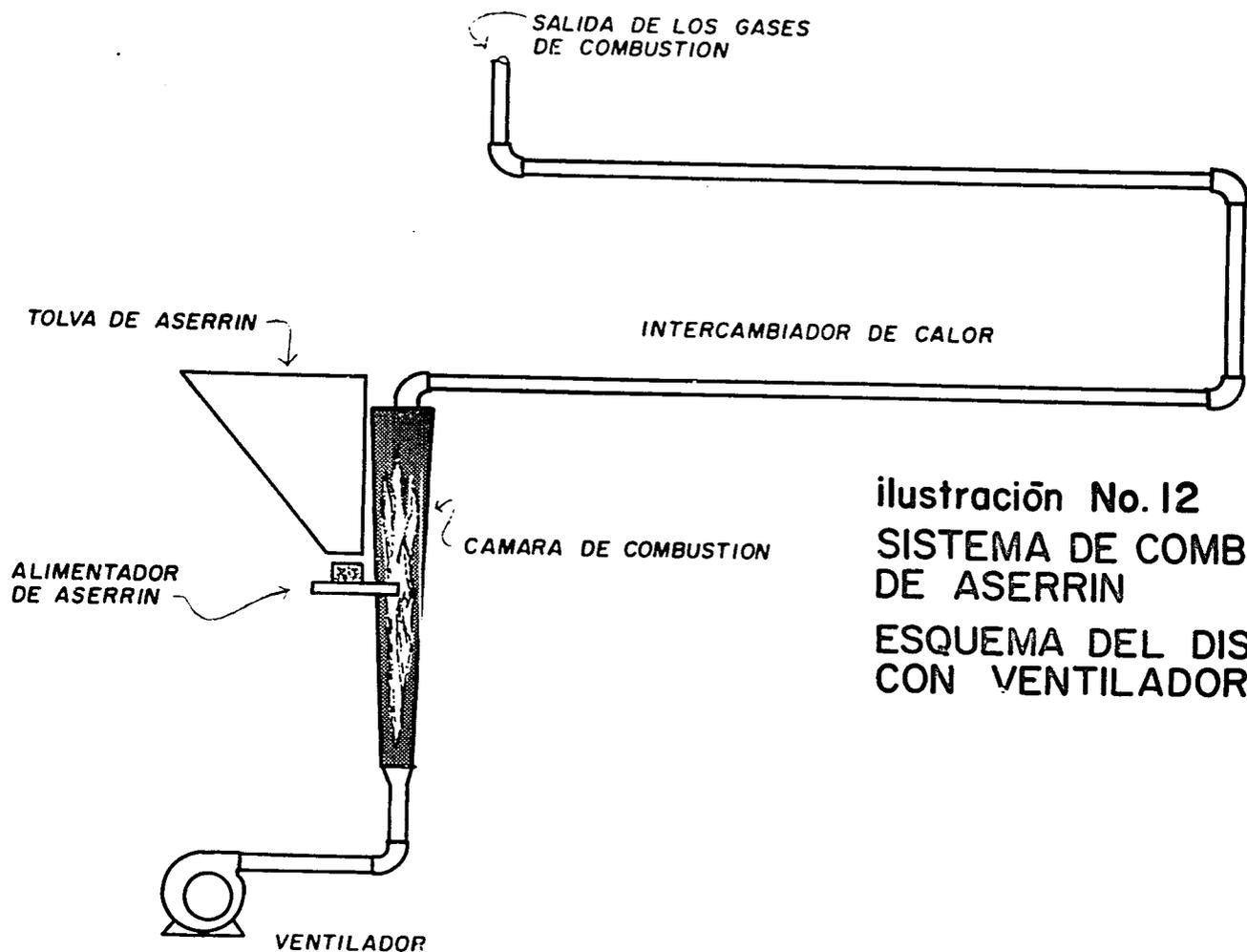


ilustración No. 12
SISTEMA DE COMBUSTION
DE ASERRIN
ESQUEMA DEL DISEÑO
CON VENTILADOR

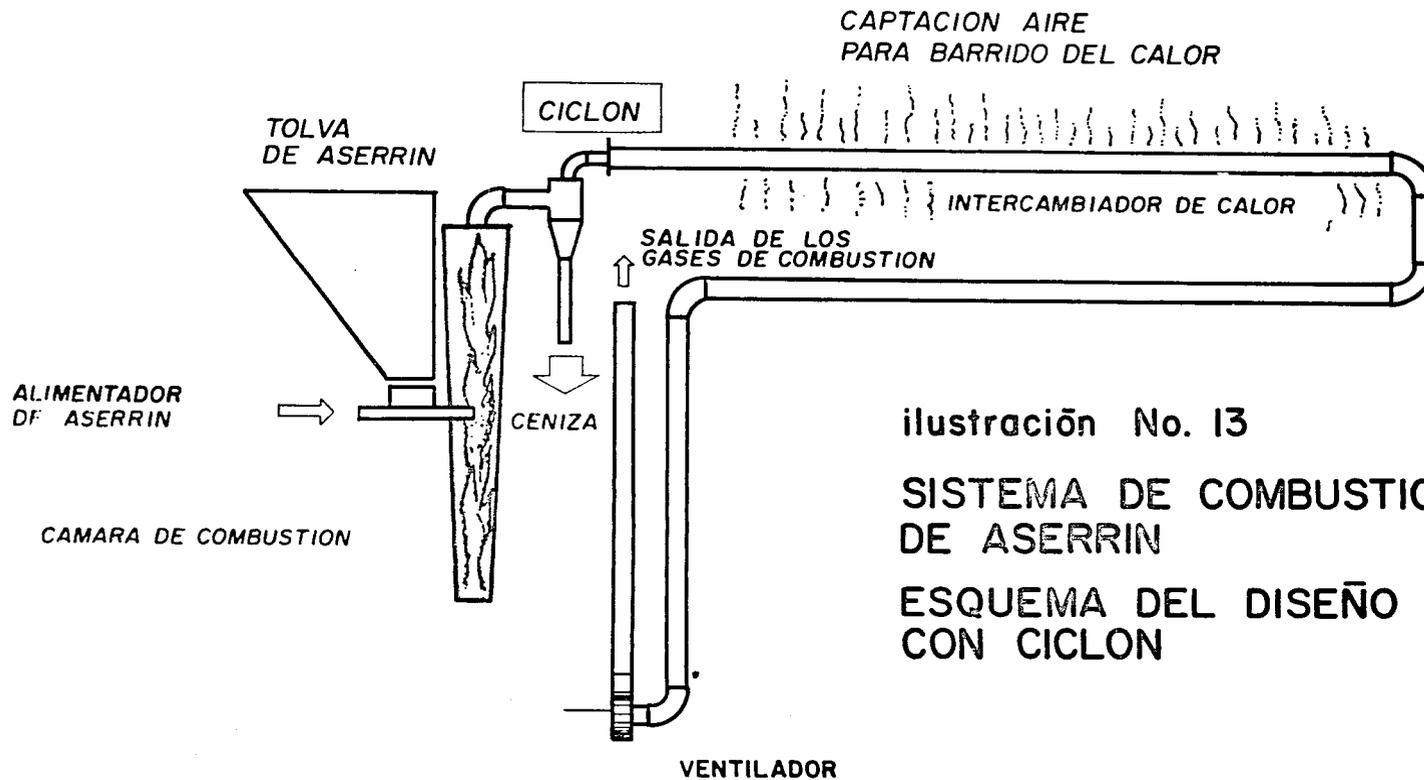


ilustración No. 13
 SISTEMA DE COMBUSTION
 DE ASERRIN
 ESQUEMA DEL DISEÑO
 CON CICLON

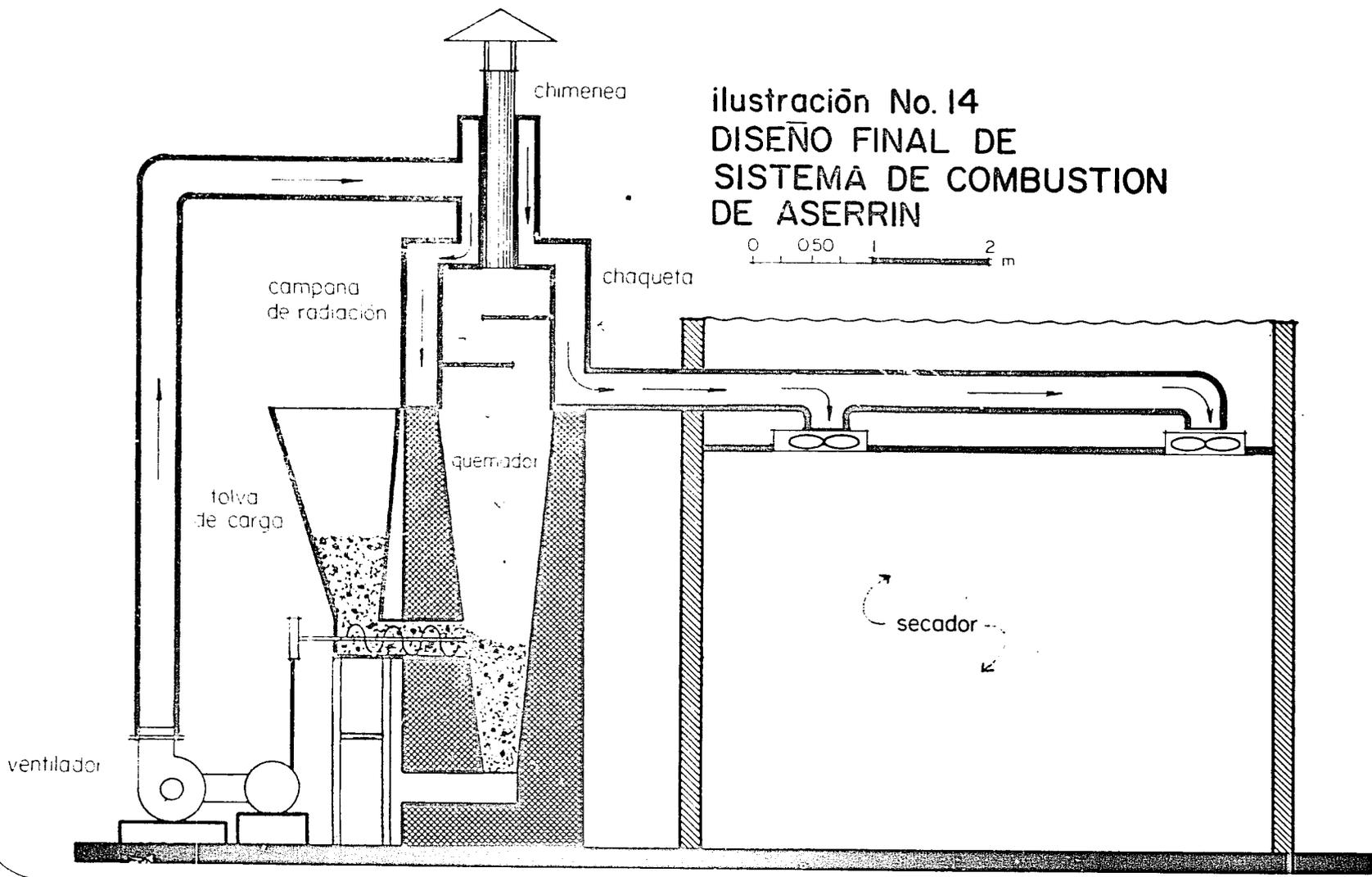


ilustración No. 14
 DISEÑO FINAL DE
 SISTEMA DE COMBUSTION
 DE ASERRIN

0 0.50 1 2 m

ventilador

tolva
de carga

campana
de radiación

quemador

chimenea

chaqueta

secador

Quinta Etapa. El secador industrial de 10 000 pt

Muchos interesados en el secado solar de madera han hallado que un secador ICAITI 87 no cubre sus necesidades y que necesitan varias unidades de ese modelo. Por lo general, los volúmenes de secado que hay que cubrir en esos casos son de alrededor de 10 000 pt por tanda, es decir, cuatro veces la capacidad nominal del ICAITI 87.

Debido a esto, se ha diseñado el modelo de 10 000 pt, que consiste en cuatro secadores pequeños, adosados para formar una sola unidad, con la variante de que el techo transparente se construye de dos aguas, y el conjunto se orienta de modo que su eje mayor quede en la línea nortesur. Esta disposición del techo permite una insolación más equilibrada. La expulsión del aire se logra mediante chimeneas con control; y el ingreso, mediante ventiladores.

El secador de 10 000 pt resulta más barato que cuatro secadores ICAITI 87, porque se economizan materiales de seis paredes que se construirían en este último caso, y que no se hacen. Ver Ilustraciones No 15, No 16 y No 17.

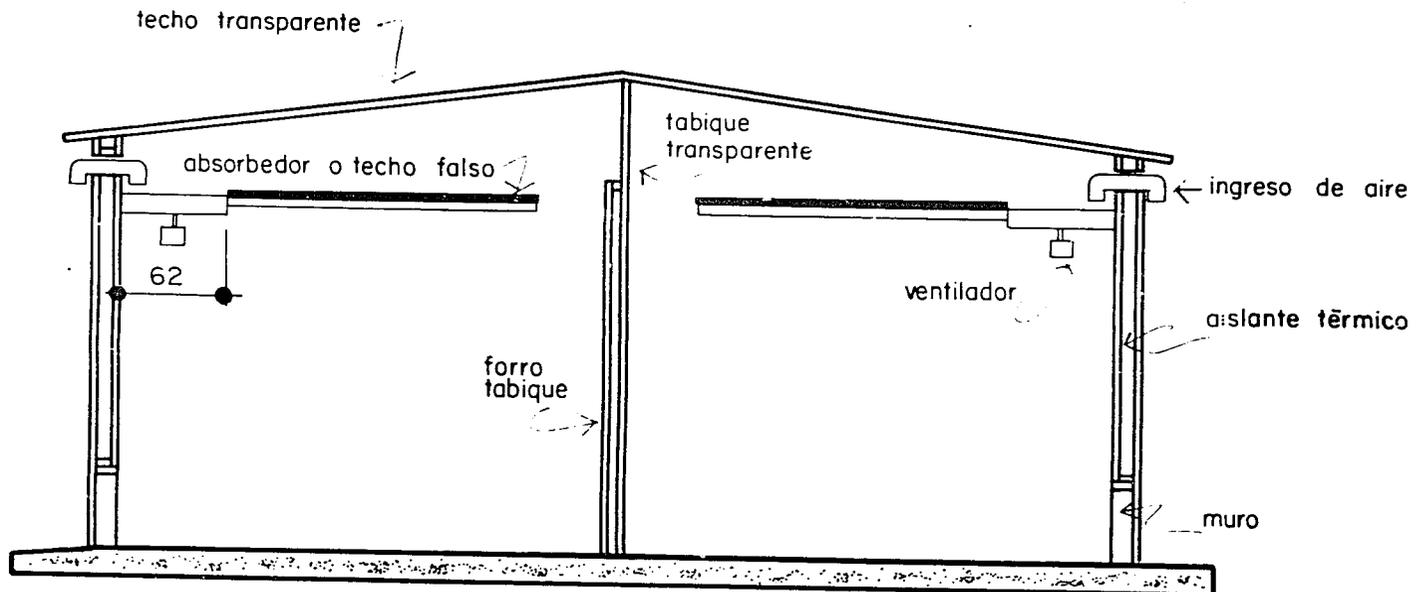
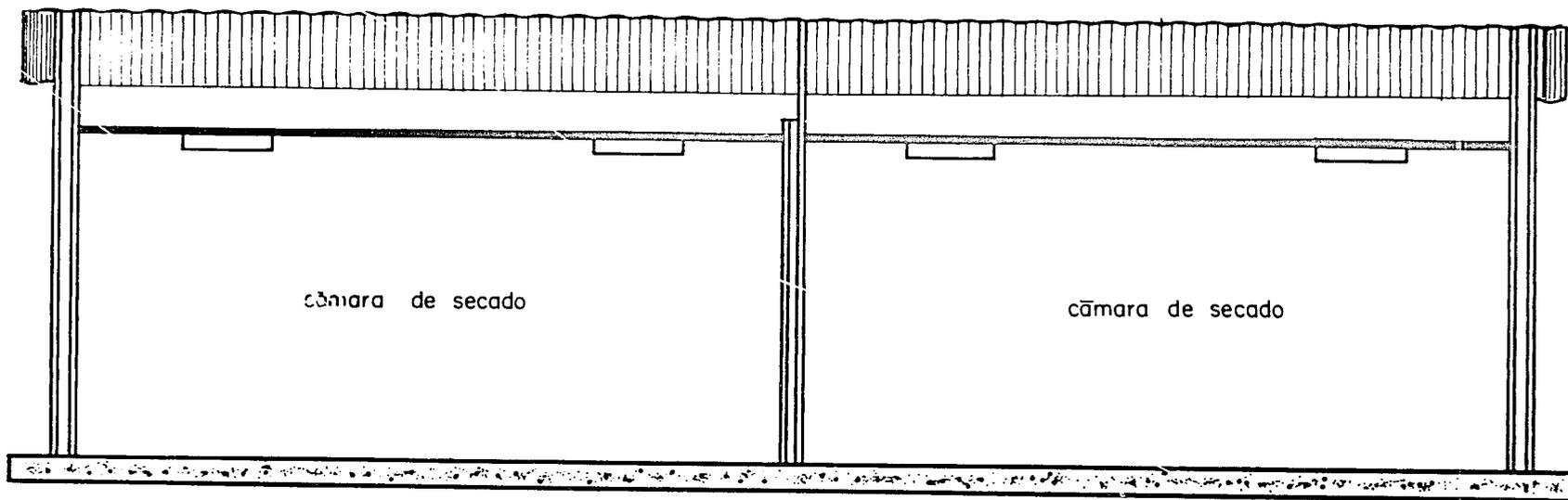


ilustración No.15 CORTE DEL SECADOR DE 10,000 pt



37

ilustración No. 16 CORTE DE SECADOR DE 10,000 pt

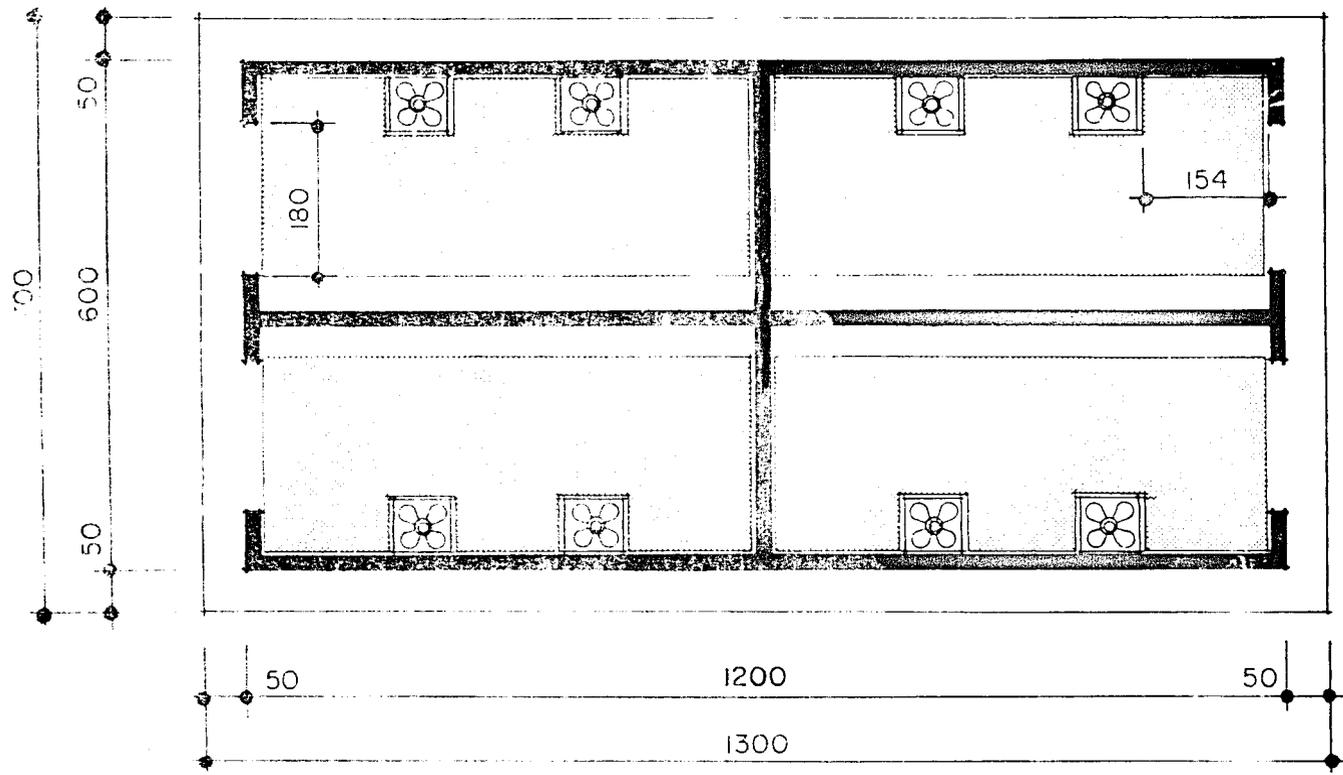


Ilustración No.17 PLANTA SECADOR 10,000 pies tablares

5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION Y DEL DESARROLLO

5.1 Resultado de las pruebas piloto para secado solar.

Las pruebas piloto se efectuaron en la unidad experimental "Coatepeque 1", en Diciembre de 1984, utilizando un solo tipo de madera (ver Anexo 2).

Las pruebas demostraron que se podía reducir la humedad de la madera hasta un 8.5% y que el secador tenía una eficiencia térmica global del 55%.

5.2 Resultados de campo (Secador ICAITI 87 y sus precursores)

Maderas que se han secado. Las que con mayor frecuencia se secan son las siguientes, aunque ocasionalmente se tratan otras especies, en pequeñas cantidades:

Guatemala: Cedro, caoba, ciprés, palo blanco, chonte;
Honduras: Cedro, caoba, pino; Costa Rica: Caoba, jaúl, carreto, laurel, caobillo

Descenso de humedad en la madera. En dos semanas se lograba secar madera de caoba o cedro, de una pulgada de grosor, inicialmente a 30-35% de humedad, hasta un 10-12% de humedad, cuando había sido presecada durante una semana; y cuando no había sido presecada, el secado tomaba tres semanas.

Deterioro por agrietamiento al secar. En madera no presecada el porcentaje de piezas rajadas nunca fue mayor que el 2%; en madera presecada, no ocurrieron rajaduras.

Cambios de color. Ninguno ha sido reportado.

Volumen mensual de secado de madera en Secador Coatepeque 2 (unidad con capacidad nominal de 2 000 pt).

En los casos reales, los usuarios (ver Anexo A-4 que enumera la lista de éstos) han reportado lo siguiente:

FAMO: Se puede llegar a 5 000 pt de madera de 1" de grueso por mes, sin problemas, aún en Septiembre y Octubre (meses de lluvia).

La Corona: Puede secar hasta 5 000 pt, por mes, de madera no presecada y 8 000 pt de madera con presecado de una dos semanas.

C. Chaverri: en piezas de 1 1/2" y 2", secan 4 000 mensualmente.

Mejoría de la calidad del producto.

Los usuarios han reportado consistentemente mejoras en la calidad del producto; por ejemplo:

INMA (Guatemala): desde que se usa el secador solar, no han tenido rechazos de madera.

Sol y Sol (Costa Rica): antes de usar el secador modelo ICAITI 87 tenían un 25 % de rechazos; ahora, no más del 5 %.

5.2.1 Unidades con problemas.

Hasta ahora, del total de 11 secadores construidos, sólo dos no operan, uno por dificultades comerciales y el otro, porque fue dañado por un ventarrón.

5.2.2 Tendencias.

En general, los interesados desean secadores de 8 000 a 10 000 pt por tanda. Lo cierto es que 3 entidades (Sol y Sol, Chaverri e INMA) han construido más de una unidad, réplicas de la original, para aumentar su producción.

6. EVALUACIONES

6.1 Evaluación técnica del secador ICAITI 87

6.1.1 Disponibilidad y costo de materiales y equipos

Con base en un modelo de 2 000 pt/tanda, podemos decir que casi todos los materiales son de origen local y de fácil adquisición; aun los ventiladores, a pesar de que son importados, son de uso común y es posible adquirirlos en el mercado. En Costa Rica y en El Salvador ya se ensamblan estos aparatos.

Los materiales necesarios y los costos se listan en la página que sigue, para la ciudad de Guatemala y finales de 1986. Se incluye una cifra estimada para mano de obra.

6.1.2 Consumo de energía

Por lo general un taller de ebanistería tiene suministro de corriente eléctrica, ya sea estatal o producida en el mismo taller.

El secador solar usa energía solar que no tiene costo. Los ventiladores consumen corriente eléctrica, a razón de 2 kW-h por día y por cada 1 000 pt.

Así, el costo por cada 1000 pt secados durante un período de 15 días (duración promedio), considerando el costo de la energía a Q0.15 (US\$ 0.06) por kW-h es:

$$C_1 = 2(15)0.15 = 4.50 \text{ Q}/1000 \text{ pt} = \text{US\$ } 1.80/1000 \text{ pt}$$

Según este resultado, el costo de la energía eléctrica consumida puede ser redondeado a Q 0.005/pt (US \$0.002/pt); el costo de la energía eléctrica consumida es bajo.

SECADOR SOLAR ICAITI-87 PARA MADERA ASERRADA Capacidad: 2 500 pies-tablares

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Costos (Q)	
				Unitario	Total
1	Alambre de amarre	Libra	2	0.80	1.60
2	Arena de río	m ³	2	11.37	22.74
3	Piedrín	m ³	2	22.34	44.68
4	Cemento Portland	Saco	15	5.69	85.35
5	Varillas acero 1/4"	Unidad	25	2.00	50.00
6	Varillas acero 3/8"	Unidad	1	5.00	5.00
7	Ladrillo barro 11x6.5x 23 cm	Unidad	65	0.13	8.45
8	Alambre eléctrico calibre 12	metro	20	0.34	6.80
9	Interruptor cuchillas 15 A	Unidad	1	15.00	15.00
10	Reglas 1" x 2" x 9'	pie-t	152	0.90	136.80
11	Reglas de 2" x 2" x 9'	Unidad	5	2.70	13.50
12	Reglas de 2" x 2" x 6'	Unidad	10	1.80	18.00
13	Reglas de 2" x 2" x 7'	Unidad	20	2.10	42.00
14	Reglas de 2" x 3" x 10'	Unidad	7	4.50	31.50
15	Reglas de 2" x 3" x 8'	Unidad	5	3.60	18.00
16	Reglas de 2" x 3" x 7'	Unidad	4	3.15	12.60
17	Parales de 3" x 3" x 10'	Unidad	2	6.75	13.50
18	Parales de 3" x 3" x 9'	Unidad	6	6.00	36.00
19	Parales de 3" x 3" x 8'	Unidad	2	5.40	10.80
20	Tabla de 1" x 6" x 10'	Unidad	6	4.50	27.00
21	Machihombre de 1/2" x 8" x 6'	Docena	11	28.80	316.80
22	Clavos para madera	Libra	9	0.80	7.20
23	Clavo para lámina	Libra	1	0.80	0.80
24	Lámina galv. ondulada cal. 28	Unidad	36	14.00	504.00
25	Lámina fibra de vidrio ondulada 3 mm x 12'	Unidad	8	54.00	432.00
26	Tela polietileno transparente	m ²	20	0.50	10.00
27	Pasadores grandes	Unidad	4	4.00	16.00
28	Pasadores medianos	Unidad	2	3.50	7.00
29	Bisagras de 3"	Unidad	12	4.55	54.60
30	Pintura negro mate	Galón	2	37.28	74.56
31	Cinta aislante	Rollo	1	2.00	2.00
32	Lona	Yarda	6	6.00	36.00
33	Durpanel	Unidad	2	25.00	50.00
34	Esponja de 1"	Plancha	1	8.00	8.00
35	Granza arroz	m ³	5	5.00	25.00
36	Candados	Unidad	2	15.00	30.00
	Subtotal materiales				2 173.28
	IVA (impuestos del estado)				152.13
	Mano de obra (35 % de materiales)				813.89
					3 139.30
	Imprevistos, 10 %				313.93
	TOTAL PARCIAL				3 453.23
37	Ventiladores 1/3 Hp, 24"	Unidad	2	1 273.00	2 546.00
	<u>GRAN TOTAL</u>				<u>Q 5 999.23</u>
					(US\$ 2 400.00)

6.1.3 Eficiencia

La eficiencia térmica aproximada de un secador solar en función de su aprovechamiento de la energía solar y de la energía eléctrica, que se discute en el Anexo A.2, es del 55%, y resulta bastante satisfactoria, ya que en general los secadores convencionales poseen eficiencias del orden del 30 al 50% (aprovechamiento efectivo de la energía que reciben).

En cuanto a la productividad, medida en pies tablares secados por día y por metro cuadrado de secador, se logró una cifra de 10 pt por m²-día.

6.1.4 Ahorro de energía

Haremos una comparación del secado solar artificial hecho en el secador ICAITI 87, con las tres opciones siguientes:

- Secado al aire libre (ambiente)
- Secado en secador de aire caliente (diesel-vapor)
- Secado en dehumedecedor eléctrico

Para estas comparaciones, se optó por analizar el secado de 1000 pt, de madera de 1" de espesor, desde 30-35% a 8-10% de humedad, lo que es suficientemente típico para el caso.

Recomendamos al lector leer el Anexo A-3, en el que se comparan los alcances, tamaños usuales y variables energéticas de esos métodos, con los del secado solar.

Secado al aire libre: Es prácticamente imposible calcular el consumo de energía con la debida precisión; y carece de interés, pues en esta forma de secado se consume energía solar y eólica en condiciones no controladas.

Secador ICAITI 87: Fuente de calor: el sol; fuente de ventilación: electricidad a 0.25 kW por hora por cada 1000 pt. Tiempo de trabajo del ventilador: 15 días de 8 horas/día de ventilación. (1 kW-h = 860 kcal).

Consumo eléctrico:

$$Q_1 = 0.25(15 \times 8)860 = 25\ 800 \text{ kcal}/1000 \text{ pt.}$$

Secador diesel-vapor: Fuente de calor: calderín de vapor que quema diesel a razón de 0.35 gal/h por cada 1000 pt; ventilación: electricidad a razón de 2 kW/1000 pt por hora. El secado dura de 80 a 120 horas (promedio: 100 h) Cada galón de diesel produce 30 500 kcal. (1 kW-h = 860 kcal).

Calor:

$$Q_2 = 0.35(100)(30\ 500) = 1\ 067\ 500\ \text{kcal}/1000\ \text{pt}$$

Ventilación:

$$Q_3 = 2(100)(860) = 172\ 000\ \text{kcal}/1000\ \text{pt}$$

$$Q\ \text{total} = Q_2 + Q_3 = 1\ 239\ 500\ \text{kcal}/1000\ \text{pt}$$

Secador dehumedecedor eléctrico: Cada 1000 pt requieren: 1 kW por hora para accionar un compresor y 0.1 kW por hora para ventilación; total: 1.1 kW por hora/1000 pt; tiempo secado: 20 días de 24 horas cada uno.

$$Q_4 = 1.1(20 \times 24)(860) = 454\ 080\ \text{kcal}/1000\ \text{pt}$$

Comparación de consumos de energía:

Secador Diesel-vapor:	1 239 500 kcal/1000 pt
Secador dehumedecedor:	454 080 kcal/1000 pt
Secador ICAITI 87	25 800 kcal/1000 pt

En resumen, los ahorros de energía comprada que se logran al emplear un secador ICAITI en vez de un secador Diesel-Vapor o un dehumedecedor, es del orden de 98% y del 94%, respectivamente.

6.2 Evaluación económica del secador ICAITI 87.

Debido a la importancia de esta evaluación, y que existen al menos seis opciones, desde el punto de vista económico, las enumeraremos:

1. Comprar madera ya secada
2. Secar al aire libre la madera propia
3. Alquilar algún secador convencional
4. Comprar, instalar y operar para sí, un secador diesel
5. Comprar, instalar y operar para sí, un dehumedecedor
6. Instalar y operar para sí, un secador solar ICAITI 87

Para hacer la comparación se escogió el método de evaluar el costo real de operación por el secado de 1 pie tablar incluyendo energía, mano de obra, amortización, mantenimiento, etc. Se tomó en cuenta la inflación local a una tasa del 15%, y el interés bancario al 12%. Se tomó en cuenta el tamaño prototipo de cada secador y sus consumos promedios, así como la vida útil de cada instalación. Se supuso que los equipos operan al 100% de su capacidad y el 100% del tiempo técnicamente disponible. Como dato se usó un valor Q 0.001 por pt/km (US\$0.0004/pt-km) para el flete de la madera. Todos los valores y precios corresponden a la Ciudad de Guatemala, en 1986.

Se escogió, como base, el secado de madera fina de una pulgada de espesor (cedro o caoba).

6.2.1 (Opción 1) Comprar madera ya secada

El sobrecosto por pie tablar de madera ya secada oscila entre Q0.2 y Q0.5. Por ejemplo, el pie tablar de caoba de segunda vale Q 1.80 si está verde (húmeda) y Q 2.00 si está seca; el de caoba de primera cuesta Q 2.00 si está verde y Q 2.50 si está seca. (Se le llama "seca" a la madera con 14% de humedad).

El secado tiene un valor de Q 0.20/pt (US\$ 0.08/pt)).

6.2.2 (Opción 2) Secar al aire libre la madera propia

Este proceso lleva al menos seis meses de tiempo, y su costo total se evalúa con la siguiente ecuación:

$$S = (t/k)[(C+L+M) i + C (X + Y) + M (Z)]$$

A continuación se describe cada una de las variables de esta ecuación, y en cada caso se indica, entre paréntesis, el valor correspondiente el caso estudiado:

t	=	Tiempo de secado en años (0.5 años)
K	=	Capacidad del patio en pt (50 000 pt)
L	=	Arrendamiento por año (L=0; patio propio)
C	=	Costo de preparación, patio y separadores ("polines") (Q0.28/pt).
M	=	Valor total de la madera (Q 100 000)
i	=	Interés bancario anual (i = 0.12)
Y	=	% del Costo, por mantenimiento (Y= 0.01)
X	=	% del Costo, por depreciación (X= 0.10) (10 años de vida útil)
Z	=	Seguro (%); (Z = 0.0; no tiene)

Para los valores de las variables en el caso que se examina, la ecuación nos da:

$$S = Q 0.152/\text{pt}$$

A ello hay que sumar el costo de mano de obra de apilado, m.o., que es de 0.005 Q/pt por carga y 0.005 Q/pt por descarga; total, m.o. = Q 0.01/pt.

Es necesario tomar en cuenta que en el secado al aire libre se pierde, en promedio, un 3% de las piezas, cuyo valor (P) sería, por pie tablar: $P = 2.00(0.03) = 0.06$ Q/pt.

$$\begin{aligned} \text{Total} &= S + \text{m.o.} + P \\ &= 0.152 + 0.01 + 0.06 = 0.222 \text{ Q/pt} \end{aligned}$$

El costo total resulta de Q0.22 /pt (US\$ 0.088/pt).

6.2.3 (Opción 3) Alquilar algún secador convencional

Según la información comercial disponible, el alquiler más bajo es 0.18 Q/pt secado; pero, por lo general, las empresas responsables ofrecen su servicios a 0.25 Q/pt si el lote es mayor de 15 000 pt, y a Q0.30/pt si es menor. Al costo de alquiler habría que sumar gastos de flete. Así tendríamos Q 0.20/pt como el más bajo valor comercial posible, Q0.32 como más alto y Q0.27 (US\$ 0.108) como el más probable.

6.2.4 (Opción 4) Comprar, instalar y operar para sí un secador diesel-vapor

El secador es de 8 000 pt/tanda y cada tanda dura 5 días; si se considera el año comercial de 300 días, se secan 60 tandas anuales. El secador cuesta Q 80 000, nuevo e instalado; tiene una vida útil de 15 años y el valor del mantenimiento anual es de 5 % sobre costo de compra. Consume 270 galones de diesel por tanda; el diesel cuesta Q 1.70 por galón.

El secador consume 2 kW-h por cada 1000 pt, para hacer funcionar los ventiladores; el ventilado dura 80 horas (no es continuo). El costo de un kW-h es de Q 0.15. El estibado (ya se describió antes en detalle), cuesta Q 0.01 por pt.

A. Amortización anual. Para los valores de $n = 15$; $i = 15\%$, el factor de amortización está dado por:

$$\text{CRf} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 0.171$$

Luego, la amortización, A, con base en el costo de compra e instalación, resulta:

$$A = 80\,000 \times CRf = 80\,000 \times 0.171 = Q\,1\,368$$

B. Costo anual del diesel:

$$B = 270(60)(1.70) = Q\,27\,540/\text{año}$$

C. Energía eléctrica al año:

$$C = 2(8000/1000)(80)(60)(0.15) = Q\,11\,520/\text{año}$$

D. = Estibado

$$D = 8\,000(60)(0.01) = Q\,4\,800/\text{año}$$

E. Mantenimiento (5% sobre costo inicial)

$$E = 80\,000(0.05) = Q\,4\,000/\text{año}$$

F. Costo total anual:

$$F = A + B + C + D + E$$

$$F = 13\,680 + 27\,540 + 11\,530 + 4\,800 + 4\,000 \\ = Q\,61\,540/\text{año}$$

G. Producción anual:

$$G = 8\,000(60) = 480\,000 \text{ pt/año}$$

H. Costo por pie tablar:

$$H = \frac{61\,540 \text{ Q}}{480\,000} = 0.128 \text{ Q/pt}$$

El costo es pues, de Q 0.13/pt (US\$0.052/pt), en promedio (% costo de energía = 63.4%)

6.2.5 Opción 5) Comprar, instalar y operar para sí un dehumedecedor

El secador es de 4 000 pt/tanda, y cada tanda dura 15 días, 24 horas diarias; si se considera el año comercial de 300 días, se secan 20 tandas al año. El secador nuevo cuesta Q 35 000, ya instalado. Tiene una vida útil de 10 años, y el costo de mantenimiento anual es del 5 % sobre el costo de compra.

A. Amortización anual En este caso, para los valores de $n = 10$, $i = 15\%$, el factor de amortización es de 0.1992

$$A = 35\ 000(0.1992) = Q\ 6\ 972/\text{año}$$

C. Energía eléctrica al año:

$$C = 1.1(4\ 000/1000)(15 \times 24)(20 \times 0.15) = Q\ 4\ 752/\text{año}$$

D. Estibado

$$D = 4\ 000(20)(0.01) = Q\ 800/\text{año}$$

E. Mantenimiento: 5% sobre CI

$$E = 35\ 000(0.05) = Q\ 1\ 750/\text{año}$$

F. Costo total anual:

$$F = A + C + D + E$$

$$F = 6\ 972 + 4\ 752 + 800 + 1\ 750 = Q\ 14\ 274/\text{año}$$

G. Producción anual

$$G = 20 \frac{\text{tanda}}{\text{año}} \times 4\ 000 \frac{\text{pt}}{\text{tanda}} = 80\ 000 \text{ pt/año}$$

H. Costo por pie tablar:

$$H = \frac{14\ 274}{80\ 000} = Q\ 0.1784/\text{pt}$$

El costo resulta de Q0.18 por cada pt secado US\$0.072/pt). (Costo de energía = 33.32 %).

6.2.6 (Opción 6) Instalar y operar para sí un secador solar ICAJTI 87

El secador es de 2500 pt/tanda, y cada tanda dura 15 días; los ventiladores funcionan 8 horas por día. En un año comercial de 300 días, se secan 20 tandas. El secador cuesta Q 6 000 nuevo e instalado. Tiene una vida útil de 5 años, y el mantenimiento anual es el 5 % sobre el costo de compra.

La potencia total combinada es 0.625 kW por tanda para hacer funcionar los ventiladores. Cada kW-h cuesta Q 0.15. El estibado cuesta Q 0.01 por pt.

A. Amortización anual ($i = 15\%$; $n = 5$; $CRf = 0.2983$)

$$A = 6\ 000(0.2983) = Q\ 1\ 790/\text{año}$$

C. Energía eléctrica al año:

$$C = 0.625(8 \times 15)(20)(0.15) = Q\ 225/\text{año}$$

D. Estibado. (estiba a Q0.01/pt)

$$D = 2\ 500(20)(0.01) = Q\ 500/\text{año}$$

E. Mantenimiento: (5% sobre costo de instalación)

$$E = 6\ 000 \times 0.05 = Q\ 300/\text{año}$$

F. Costo total anual

$$F = 1\ 790 + 225 + 500 + 300 = Q\ 2\ 815/\text{año}$$

G. Producción anual:

$$G = 2\ 500(20) = 50\ 000\ \text{pt}/\text{año}$$

H. Costo por pie tablar

$$H = \frac{2\ 815}{50\ 000} = 0.0563\ \text{Q}/\text{pt}$$

El costo del secado no excede de Q0.06/pt es decir, US\$ 0.024/pt; de este total, el 8 %, a lo sumo, corresponde al gasto por concepto de energía consumida.

6.2.7. Comparación Resumen de los costos promedio del secado de un pie tablar, para todas las opciones.

Opción	Técnica	costo Q/pt	costo US\$/pt
1	Compra de madera ya secada	0.20	0.08
2	Secado al aire libre	0.22	0.088
3	Secador conven. en alquiler	0.27	0.108
4	Secador diesel (propio)	0.13	0.052
5	Deshumecedor (propio)	0.18	0.072
6	Secador ICAITI 87 (propio)	0.06	0.024

6.2.8 Comparación de costos de producción.

Se usará producción base de 150 000 pt secados por año, que es aproximadamente la capacidad de un secador industrial.

Opción	Costo anual de producción Q	inversión inicial		Vida útil años
		US\$	Q US\$	
1	150 000x0.20 = 30 000	12 000	-----	---
2	150 000x0.22 = 33 000	13 200		
3	150 000x0.27 = 40 500	16 200		
4	150 000x0.13 = 19 500	7 800	25 000	10 000
5	150 000x0.18 = 27 000	10 800	105 000	42 000
6	150 000x0.06 = 9 000	3 600	18 000	7 200

6.2.9 Ganancia al dar en arrendamiento un secador solar ICAITI 87

Si alquilamos nuestro secador al 80 % de su capacidad y lo trabajamos hasta al fin de su vida útil (5 años) tenemos que la ganancia (G) es:

$$G = (\text{valor alquiler} - \text{costo secado})(\text{pt secados/año})$$

$$G_{09} = (0.09 - 0.06) 200\ 000 = Q\ 6\ 000 = \text{US\$}\ 2\ 400$$

$$G_{15} = (0.15 - 0.06) 200\ 000 = Q\ 18\ 000 = \text{US\$}\ 7\ 200$$

$$G_{20} = (0.20 - 0.06) 200\ 000 = Q\ 28\ 000 = \text{US\$}\ 11\ 200$$

$$G_{25} = (0.25 - 0.06) 200\ 000 = Q\ 38\ 000 = \text{US\$}\ 15\ 200$$

Se obtienen las tasas de rentabilidad así:

V. alquiler	
Q0.09/pt	i = 15%
Q0.15/pt	i = 32%
Q0.20/pt	i = 42%
Q0.25/pt	i = 49%

Si el secador ICAITI 87 se alquila a Q 0.09/pt (US\$ 0.04) que es un valor bajo, se obtiene una tasa equivalente a la tasa bancaria más favorable.

6.3 Evaluación técnica del secador híbrido

6.3.3 Disponibilidad y costo de materiales y equipos.

El secador híbrido requiere equipos que pueden fabricarse localmente y que resultan de fácil adquisición. Los materiales necesarios para la unidad base (secador ICAITI 87) se enumeran en la sección 6.1.1. Los elementos especiales que se necesitan para la combustión del aserrín y el aprovechamiento del calor obtenido de él, se enumeran más adelante.

6.3.2 Consumo de energía

Los ventiladores (3 unidades: dos del secador y uno del quemador), consumen corriente eléctrica a razón de 15 kW-h por día y por cada 1000 pt.

Así, el costo por cada 1000 pt secados, durante 5 días (duración promedio) a Q0.15 cada kW-h, resulta:

$$C_1 = 15(5)0.15 = Q 12/1000 \text{ pt}$$

El costo de la energía eléctrica consumida puede ser redondeado a Q 0.012/pt.

6.3.3 Eficiencia

La eficiencia aproximada de un secador híbrido en función de su aprovechamiento de la energía solar, de la energía eléctrica y de la combustión del aserrín, es de 40%, valor que es bastante satisfactorio, comparado con la eficiencia de los secadores convencionales que va de 30% a 50%.

La productividad del secador híbrido resultó ser de 25 pies tablares secados por metro cuadrado de secador y por día.

6.3.4 Ahorro de energía.

Se hará una comparación del secador híbrido con a) el secador ICAITI 87, b) el secador diesel-vapor y c) con el deshumecedor. Para la comparación, usaremos los valores calculados en la sección 6.1.4; sólo resta calcular el caso del secador híbrido.

Secador híbrido. Fuente de calor durante ocho horas de día: luz solar. Fuente de calor durante 16 horas en que no hay insolación o resulta insuficiente: quemador de aserrín, que

consume 2 kg por hora por cada 1000 pt secados. Ventilación: electricidad a 0.5 kW-h por cada 1000 pt. El secado dura 120 horas (80 de combustión y 40 de sol). El aserrín produce 2500 kcal/kg.

Calor producido por aserrín:

$$Q_5 = 2(80)(2500) = 400\ 000 \text{ kcal/ } 1000 \text{ pt}$$

Consumo eléctrico por ventiladores:

$$Q_6 = 0.5(120)(860) = 51\ 600 \text{ kcal/ } 1000 \text{ pt}$$

$$Q_{\text{suma}} = 451\ 600 \text{ kcal/ } 1000 \text{ pt}$$

Comparación de consumos de energía:

=====	
Secador Diesel-vapor:	1 239 500 kcal/1000 pt
Secador deshumecedor:	454 080 kcal/1000 pt
<u>Secador híbrido:</u>	451 600 kcal/1000 pt
Secador ICAITI 87	25 800 kcal/1000 pt
=====	

6.4. Evaluación económica del secador híbrido.

En la sección 6.2 se hizo una comparación del secador ICAITI 87 con 5 opciones; nos referiremos a los valores obtenidos en esa sección. Los cálculos están basados en las condiciones indicadas en esa sección y corresponden al costo real de operación por el secado de un pie tablar, incluyendo energía, mano de obra, amortización, mantenimiento, etc.

6.4.1 Secador híbrido para madera aserrada.

A. Amortización anual ($i = 15\%$; $n = 5$; $CRf = 0.2983$)

$$A = 11\ 400(0.2983) = Q\ 3\ 400.62/\text{año}$$

C. Energía eléctrica al año:

$$C = 1.25(24 \times 5)(60)(0.15) = Q\ 1350/\text{año}$$

D. Estibado. (estiba a Q0.01/pt)

$$D = 2\ 500(60)(0.01) = Q\ 1\ 500/\text{año}$$

E. Mantenimiento: (5% sobre costo de instalación)

$$E = 11\ 400 \times 0.05 = Q\ 570/\text{año}$$

F. Consumo de aserrín (Q0.02/kg)

$$F = 5(16)(300)(0.02) = Q\ 480/\text{año}$$

G. Costo total anual

$$G = 3400.62 + 1350 + 1500 + 570 + 480 = Q\ 7300.62/\text{año}$$

H. Producción anual:

$$H = 2\ 500(60) = 150\ 000\ \text{pt}/\text{año}$$

I. Costo por pie tablar:

$$I = 7300.62/150\ 000 = 0.0487 = Q\ 0.05 = \text{US\$}\ 0.02$$

6.4.2 Comparación

Resumen de los costos promedio del secado de un pie tablar para siete opciones:

Opción	Técnica	costo Q/pt	costo US\$/pt
1	Compra de madera ya seca	0.20	0.08
2	Secado al aire libre	0.22	0.088
3	Secador conven. en alquiler	0.27	0.108
4	Secador diesel (propio)	0.13	0.052
5	Deshumecedor (propio)	0.18	0.072
6	Secador ICAITI 87 (propio)	0.06	0.024
7	Secador híbrido	0.05	0.02

6.4.3. Comparación de costos de producción

Cotejaremos el caso del Secador ICAITI 87 y el caso del Secador Híbrido, ya que las otras comparaciones posibles se han incluido en la sección 6.2. Base de cálculo: 150 000 pt secados por año.

Opción	Costo anual de producción Q	US\$	inversión inicial (*)		Vida útil años
			Q	US\$	
6	150 000x0.06 = 9 000	3 600	18 000	7 200	5
7	150 000x0.05 = 7 500	3 000	11 400	4 560	5

(*)Tres secadores, para tener 150 000 pt. de capacidad /año

SECADOR HIBRIDO (SOLAR COMBUSTION) PARA MADERA ASERRADA
 Capacidad: 2500 pies tablares.

No.	Descripción	Cantidad	Costo total
1	Cámara de combustión de ladrillo	1	Q 200.00
2	Cámara de radiación y camisa	1	800.00
3	Sistema de alimentación de aserrín	1	1 500.00
4	Ventilador	1	500.00
5	Accesorios eléctricos		500.00
6	Mano de obra		1 000.00
7	Imprevistos		900.00
8	Secador ICAITI 87		5 999.23
TOTAL			Q 11 399.23
			US\$ 4560.00

6.4.4 Ganancia al dar en arrendamiento un secador híbrido

Si alquilamos nuestro secador al 80 % de su capacidad y lo trabajamos hasta al fin de su vida útil (5 años) tenemos que la ganancia (G) es:

$$G = (\text{valor alquiler} - \text{costo secado})(\text{pt secados/año})$$

$$G_{09} = (0.09 - 0.05)(150\ 000)(5) = Q\ 30\ 000 = \text{US\$}\ 12\ 000$$

$$G_{12} = (0.12 - 0.05)(150\ 000)(5) = Q\ 52\ 500 = \text{US\$}\ 21\ 000$$

$$G_{15} = (0.15 - 0.05)(150\ 000)(5) = Q\ 75\ 000 = \text{US\$}\ 30\ 000$$

$$G_{20} = (0.20 - 0.05)(150\ 000)(5) = Q\ 112\ 500 = \text{US\$}\ 45\ 000$$

$$G_{25} = (0.25 - 0.05)(150\ 000)(5) = Q\ 150\ 000 = \text{US\$}\ 60\ 000$$

6.5 Impacto social y aceptación

El secado solar implica la transferencia de una tecnología al sector industrial del aserrío, el cual cubre: tala de bosques, transporte de madera y trozas, aserrado, ebanistería, carpintería, artesanía en madera, venta de muebles y exportación de madera como troza, tabla o producto terminado.

Uno de los efectos benéficos de la introducción de la tecnología de los secadores desarrollados por el ICAITI ha sido la creación de nuevos empleos para estibadores y encargados de los secadores, a pesar de que a la fecha sólo se ha instalado entre un seis y un ocho por ciento del total del mercado potencial para el secador solar. Además, se ha dado capacitación a los propietarios y encargados de los secadores, dándoles así, no sólo un nuevo medio de vida sino también una vía para su superación personal. Se ha logrado dar mejor calidad y acabado a los productos terminados y se ha reducido la dependencia externa, ya que no es necesario importar secadores convencionales; y se ha reducido el uso de combustibles fósiles, y la consiguiente salida de divisas.

El secador solar ha sido aceptado muy bien en Guatemala, Costa Rica y Honduras. En particular, en Honduras, no sólo ha habido aceptación, sino que también mayor demanda, tanto en el número de unidades construidas (9), como en tamaño de algunas de ellas (se han diseñado secadores con capacidad de hasta 25 000 pt). En El Salvador, en donde no hay mucha madera disponible, sólo hay moderado interés en la tecnología solar para secado de madera.

7. CONSIDERACIONES FINALES

7.1. Capacidad real instalada y mercado global

A Febrero de 1987 y analizando los casos de Guatemala Honduras y Costa Rica, podemos concluir que el mercado global total de madera secada de esos países, es del orden de 18 millones de pt por año, (5 millones, Guatemala y Costa Rica, y de 8 millones, Honduras).

A la fecha están en operación 10 secadores solares con capacidad bruta de 25 000 pt cada 15 días, y se espera tener a finales de 1987 otras nueve unidades con volumen bruto combinado de otros 75 000 pt cada 15 días (tres son híbridas y algunas de 10 000 pt tanda). Así, a la fecha se tiene una capacidad anual, ya operando, de 600 000 pt/año (3.33% del total global). Para detalles, ver Anexo A.4.

7.2 Valor agregado generado

Para este cálculo se supone que los secadores operan al 90% de su capacidad nominal; y según la opción 1 del cuadro de la sección 6.2.7, el valor agregado es de Q0.20 por pie tablar secado.

$$Va = 600\ 000(0.20)(0.9) = Q\ 108\ 000 = US\$43\ 200$$

7.3 Empleos generados

A la fecha se han creado en torno al servicio de secadores solares instalados un total de 13 puestos reales y permanentes, 11 de ellos en estibado y 2 de encargados. Los estibadores en promedio ganan Q150 al mes y los encargados, unos Q450/mes; así, el conjunto sumaría unos Q 30 600; además, se han pagado por mano de obra de construcción de secadores, unos Q4 000 por año; o sea que en salarios la suma es del orden de Q 34 600 que se puede llevar por redondeo a Q35 000 (US\$ 14 000).

Según las estadísticas laborales de esta región, cada empleo directo en el ramo de la ebanistería, implica la creación de otros 2 empleos en las otras actividades auxiliares del aserrío. Como se han creado 13 nuevos empleos directos, se habría generado unos 26 puestos en las otras actividades a Q150.00 cada uno, por lo menos. Lo que significa Q46 800 por año (US\$18 720).

En total en empleos directos e indirectos se ha llegado a un total de US\$ 33 000 .

7.4 Costo de combustible y electricidad ahorrados

Se hará el análisis en base a 600 000 pt que se secan por año; para este cálculo, no importa si el secador se opera al 90 % o al 100%, pues el consumo para esos 2 niveles de aprovechamiento es básicamente igual. Sabemos que, en promedio, 1 000 pt consumen 35 galones de diesel.

a) Secador híbrido

Este modelo consume 0.5 kW-h por cada 1000 pt a Q0.15 por kW-h. Se requieren 120 horas de ventilado por tanda. El secador híbrido consume 2 kg de aserrín por hora, durante 80 horas por tanda; el aserrín cuesta Q 0.02 por kg. Luego, el costo de la energía para 600 000 pt será:

$$CEL = 600(0.5)(120)(0.15) = Q 5 400 = US\$ 2160$$

$$Cas = 600(2)(0.02)(80) = Q 1920 = \underline{US\$ 768}$$

$$CTOT = Q 7320 = US\$ 2928$$

b) Secador ICAITI 87

Este modelo consume 0.25 kW-h por cada 1000 pt, a razón de Q 0.15 por cada kWh. Se requieren 120 horas por tanda. Luego, el costo de la electricidad consumida para secar 600 000 pt es:

$$C_{e1} = 600(0.25)(120)(0.15) = Q 2700.00 = US\$1080$$

c) Secador deshumedecedor

Este secador consume 1.1 kW-h por cada 1000 pt a razón de Q 0.15 por cada kW-h. Se requieren 480 horas de secado por tanda. Luego, el costo de la electricidad consumida para secar 600 000 pt es:

$$C_{e2} = 600(1.1)(480)(0.15) = Q 47 520 = US\$ 19 008$$

d) Secador diesel vapor

Este secador consume 2 kW-h por cada 1 000 pt a razón de Q 0.15 por cada kW-h. Se requieren 80 horas de secado por tanda. Luego, el costo de la electricidad consumida es:

$$C_{e3} = 600(2)(80)(0.15) = Q 14 400 = US\$ 5 760$$

Además, consume aceite diesel a razón de 35 gal por cada 1 000 pt, que cuesta Q 1.70 el galón, luego:

$$C_d = 600 (35)(1.70) = Q 35 700 = US\$ 14 280$$

e) Comparación de los costos de energía consumida

Secador híbrido-----Q 7 320 = US\$ 2928

Secador ICAITI 87----- Q 2 700 = US\$ 1080

Deshumedecoror-----Q 47 520 = US\$ 19 008

Secador diesel vapor--Q 50 100 = Us\$ 20 040

7.5 Beneficio social

Dado que se crearon 13 empleos directos y 26 indirectos (39 en total) podemos decir que si la familia que depende del empleado es de 5 personas, se está dando facilidad a que 195 personas encuentren sustento. Los beneficios futuros por transferencia de tecnología no se pueden cuantificar todavía.

7.6 Perspectivas futuras

7.6.1 Perspectivas del mercado

Deberían someterse a secado unos 18 millones de pt, de maderas finas y semifinas por año, en Guatemala, Honduras y Costa Rica, conjuntamente. Entre un 25 y un 30% está siendo ya secado con secadores convencionales. El secador ICAITI 87 tiene un mercado potencial de 7 a 8 millones de pt al año, que corresponden principalmente a productores pequeños y a un número no precisable de productores medianos.

El secador híbrido tiene un mercado potencial de 13 millones de pt por año, correspondientes a productores grandes y a algunos medianos.

A la fecha hay instalada una capacidad de secado de 0.6 millones de pt/año y se espera que, a corto plazo, esta capacidad se cuadruplicará; de esta manera, quedará cubierto

aproximadamente el 32 % de las necesidades futuras que se han estimado para los productores medianos y pequeños.

7.6.2 Perspectivas técnicas

El secador solar ICAITI 87, en su estado actual, es aprovechable, aunque sea susceptible de mayor perfeccionamiento, en especial en lo que se refiere a los materiales con que se construye.

Sin embargo, el campo más prometedor es el del secador híbrido, pues con él se puede lograr las siguientes ventajas: reducir el tiempo de secado, obtener madera con un grado más bajo de humedad, usar el secador para otros productos diferentes a la madera, e instalarlo en regiones que no tienen la insolación adecuada para el secador solar simple.

Como complemento a la difusión de la tecnología de secado solar de madera, resultaría conveniente estudiar la posibilidad de producir aspas de ventilador en esta región, para que no sea necesario importarias.

7.6.3 Perspectivas económicas

Es posible que en el futuro pueda diseñarse secadores más baratos que resulten al alcance de usuarios con menos recursos; mientras tanto, sería muy bueno crear empresas de consultoría para la construcción del secador ICAITI 87, el secador híbrido y sus variantes, y que dieran mantenimiento y capacitación. Esto último haría posible tener personal más tecnificado que pudiera fabricar unidades mejores, en plazos más breves y con mayor garantía.

7.6.4 Perspectivas sociales

Se sugiere la mejora de las políticas de asistencia técnica y de disseminación de manera que permitan una mejor y más rápida asimilación de la tecnología y a la vez se contribuya a elevar el nivel técnico cultural de los usuarios y sus comunidades.

7.7 Recomendaciones

- Sistematizar la forma de prestar asistencia técnica para que ésta se dé en forma realista y efectiva.
- Empezar las campañas de promoción en conjunto con aquellas entidades que tengan interés en la industria de la madera y dirigirlas a los industriales y artesanos que puedan aprovechar la tecnología.

Estudiar las necesidades y condiciones particulares de cada caso que se presente a consulta, para diseñar un modelo apropiado para el usuario, de modo que le sea posible aprovechar los combustibles disponibles más adecuados (aserrín, viruta, desechos agrícolas y otros).

- Seguir la investigación en el campo de secadores híbridos.

7.8 Política futura.

ICAITI promoverá la instalación de secadores solares simples, solares híbridos y secadores por combustión, en talleres de todo tamaño, mediante sus Delegaciones en los países centroamericanos, y por los mismos usuarios satisfechos. El ICAITI, siendo organismo no lucrativo, solamente cobrará los costos reales de la asistencia técnica que preste.

7.9 Conclusión

El secador solar simple y el secador híbrido son la alternativa intermedia efectiva que se pretendía crear entre el secado al aire libre y el secado convencional. Su funcionamiento es económico y sencillo; su construcción es fácil y no requiere expertos; el costo de construcción está al alcance de los usuarios potenciales. En el futuro, tanto el secador solar simple como el híbrido vendrán a llenar la brecha tecnológica entre el secado al aire libre y el secado convencional.

8. ANEXOS

ANEXO A-1 Caso del primer secador experimental, Coatepeque 1

El señor Ricardo Flores era propietario de un taller situado en la localidad de Coatepeque, a 216 Km de la Ciudad de Guatemala, dedicado a producir puertas de madera. En la época del inicio del caso tenía 7 obreros y 2 supervisores. Consumía al mes 5 000 pt de madera de "Chonte" de 1/2" de espesor. A la fecha, el taller ha sido trasladado a la ciudad de Guatemala, tiene 13 obreros y 2 supervisores, y consume al mes un total de 8 000 pies tablares de madera de ciprés, cedro y caoba.

Problemática y su solución:

El señor Flores inició operaciones en mayo de 1984, y siendo poco conocedor de los defectos de secar madera al sol directo y del efecto de no secar bien la madera antes de procesarla, procedió a colocar las tablillas sobre el techo de la galera del taller, donde el sol y el viento la secaron "en apariencia" en un sólo día. Armó con ese lote sesenta puertas y las envió a Ciudad de Guatemala, a un almacén de artículos para la construcción. Al tercer día casi todas las puertas se habían rajado profundamente y mostraban grietas de hasta un centímetro de ancho, por lo que, a excepción de una sola puerta de ese lote, que permaneció en Coatepeque, todas se perdieron.

Ante este problema, el señor Flores indagó sobre la compra y el alquiler de secadores convencionales; al ver que ambas opciones resultaban muy lejos de sus posibilidades económicas, y ante el peligro de la quiebra de su taller, acudió al ICAITI, en donde fue atendido por el grupo de aplicación de energía solar. El estudio del caso del taller del Sr. Flores demostró que un secador solar cubría sus necesidades de secado y tenía un costo adecuado, por lo que se llegó al acuerdo de que él construiría la primera unidad experimental (Coatepeque 1), lo cual hizo en Agosto de 1984, y así solucionó su problema. En 1985 construyó otro secador de mayor capacidad. En 1986, por razones comerciales, hubo de trasladarse a la Ciudad capital, donde construyó otro secador; éste fue aprovechado para experimentar el uso combinado de energía solar y energía de combustión ("secador híbrido" o "secador solar-combustión"), que es el que el señor Flores usa en la actualidad.

Efecto en el taller:

El uso de un secador solar permitió al Sr. Flores producir puertas que no fueron rechazadas, y dió origen a la creación de una plaza fija (estibador), y ha permitido que el acabado de los productos mejore en forma notable. Actualmente tiene el proyecto de construir un secador con capacidad para 50 000 pies tablares/tanda, tipo híbrido, ya que desea exportar puertas y, además, secar madera para otras personas.

Opciones consideradas

El Sr. Flores necesitaba 96 000 pies tablares de madera, al año, con 8-10% de humedad. Las opciones que tenía eran las siguientes:

1. Secar la madera al aire libre
2. Usar un deshumecedor
3. Comprar madera ya secada
4. Usar un secador diesel-vapor (propio o alquilado)
5. Usar un secador solar

Al analizar estas cinco opciones, se hallaron las siguientes ventajas y desventajas:

- 1) No tenía terreno para secado al aire libre, y este método no le resultaba adecuado;
- 2) El deshumecedor no le permitía obtener madera con 8-10% de humedad;
- 3) Comprar madera seca, le resultaba difícil pues habría de emplear tiempo viajando por muchos talleres, y además tendría que pagar flete, y no menos de 0.25 Q/pt de sobrevalor, por tratarse de madera secada;
- 4) El secador diesel-vapor más pequeño que podía encontrar era de 8 000 pt/cada 5 días; por tanto, en apenas 2 meses cubriría sus propias necesidades, y durante los otros 10 meses de cada año, el secador lo tendría ocioso, y aun cuando quizá podría darlo en alquiler, ése no era su negocio. De todas formas, sólo el costo del secador diesel-vapor resultaba mayor que el de todo el resto de equipo del taller en conjunto;
- 5) Así que optó por el secado solar artificial que resultaba más barato y que se podía ajustar a sus necesidades.

Comparación de costos de las opciones consideradas

Uno de los factores que se consideraron al elegir la opción solar, fue el costo de operación. Para hacer comparaciones, se usaron los datos siguientes (que corresponden al año 1984):

Volumen de ramera por secar: 96 000 pt/año

Consumos de energía:

Deshumecedor	530 kW-h/1000 pt-tanda
Secador diesel-vapor	200 kW-h/1000 pt-tanda
	35 galones diesel/1000 pt-tanda
Secador solar (experimental)	30 kW-h/1000 pt-tanda

Cobros por servicios

Alquiler secador diesel vapor:	Q 0.25/pt (US\$ 0.10/pt)
Flete	Q 0.001/pt (US\$ 0.0004/pt)
Estibado	Q 0.01/pt (US\$ 0.004/pt)

Valor de la energía

1 kW-h de electricidad:	Q 0.15 (US\$ 0.06)
1 galón de diesel:	Q 1.70 (US\$ 0.68)

Sobre la base de estos valores, se hizo la comparación contenida en el Cuadro adjunto, la cual muestra que todas las opciones son más caras que el secado solar artificial.

Cómo era el primer secador solar usado

Se construyó sobre una losa de concreto; por fuera, el secador mide 2 m x 5 m; una pared (norte) mide 2.8 de alto, y otra pared (sur) mide 2.0 m.

La armazón se hizo de madera. También los forros externo e interno, pues era un experimento y había disponible un exceso de madera de puertas rajadas. Se colocó un falso techo de lámina ondulada pintada de negro, a 1.8 m del suelo. Se usó granza de arroz como aislante térmico dentro de las paredes.

Sobre el techo falso se instalaron 4 ventiladores de 24" de diámetro, 1/3 Hp y 4 000 pies cúbicos por minuto cada uno, con su eje de rotación horizontal. En las salidas de aire se colocaron cuatro persianas de 18" que cuatro motorcitos activados por un humidostato se encargarían de abrir y cerrar. El techo se hizo de lámina de fibra de vidrio, lisa, de 1 mm de espesor.

COMPARACION DE COSTOS DIFERENCIALES POR AÑO
Y AHORROS CON SECADO SOLAR ARTIFICIAL

	Electricidad (*) kW-h	Diesel (**) gal	Arrendamiento Q	Flete (***) Q	Estibado Q	TOTAL
Deshumedecedor	50 880	-	-	-	-	
Secado solar artificial	2 880	-	-	-	-	
Ahorro	48 000	-	-	-	-	Q 7 200
Secador diesel-vapor propio	19 200	3 360				
Secado solar artificial	2 880	00				
Ahorro	16 320	3 360				Q 8 160
Secador diesel-vapor arrendado*	-	-	24 000	5 760	960	
Secado solar artificial	-		5 760	00	00	
Ahorro			18 240	5 760	960	Q 24 960 US\$ 9 984

* El precio del kW-h es Q0.15 (US\$0.06).

** El galón de diesel cuesta Q1.70 (US\$0.68).

***Distancia entre taller y secador: 30 Km. Era necesario pagar flete y estibadores en ambos puntos.

**ANEXO A-2 Informe resumen de la prueba del secador
Coatepeque 1.**

GENERALIDADES

Lugar	Coatepeque, Quetzaltenango Guatemala
Clima	Cálido lluvioso
Altitud	500 metros sobre nivel del mar
HR anual promedio	73%
Insolación anual media	400 l/día
Establecimiento	Fábrica de puertas, PRODEMA
Persona responsable	Señor Ricardo Flores A. (Propietario)
Epoca	Primera quincena de Diciembre de 1984

Producto por secar

Tablillas de madera de "Chonte" o Palo San Juan (*Vochisia hondurensis*), destinadas a la fabricación de puertas. Cada tablilla medía 215 x 10 x 1.27 cm (7 pies x 7 pulgadas x 1/2 pulgada).

El "Chonte" es una madera blanco-crema, amarfilada; de fibra bien definida, pero no compacta; con densidad 0.4 (B.5 = 0) gm/cc, liviana, fácil de trabajar. Se obtiene en la región de la "Costa Cuca", o sea en terrenos con altitud entre 500 y 1 200 metros sobre el nivel del mar. La fábrica adquiría la madera en forma de tablas de 2.86 cm de grueso (1 1/8 pulgadas) extremadamente húmedas (C.H. BS = 120-200%) y que luego se hendían en el taller para obtener las tablillas, que se ponían a secar.

Cómo se realizó la práctica

Se eligió una pila de tablillas que había estado a la intemperie durante un mes, y de las que se había comprobado en los últimos 15 días que su humedad ya no variaba, o sea, que había llegado a un equilibrio con la humedad ambiental. Una parte de la pila se destinó al secado, y el remanente se usó como "patrón de comparación".

De cada diez tablillas se tomó una y se le midió la humedad mediante un xilohigrómetro; luego los valores obtenidos fueron confirmados usando el "Método oficial de evaluación de humedad". El lote de tablillas puestas dentro del secador consistía en dos bancos, cada banco de 46 capas de madera, cada capa de 7 reglillas. (644 tablas, 1 313 pies tablares).

De las 644 tablillas se eligieron 65 al azar, para medir la humedad inicial del lote, la cual resultó entre 21% y 23%, base seca. Se eligió la tablilla más húmeda del lote (cuya humedad inicial se estimó en 24%) y se cortó en seis pedazos; cuatro fueron colocados dentro del secador como patrones, y los otros dos se secaron en el horno para hallar su contenido real de humedad, el cual resultó ser de 23%.

La prueba duró tres días y fracción; durante la prueba se midieron periódicamente los siguientes valores:

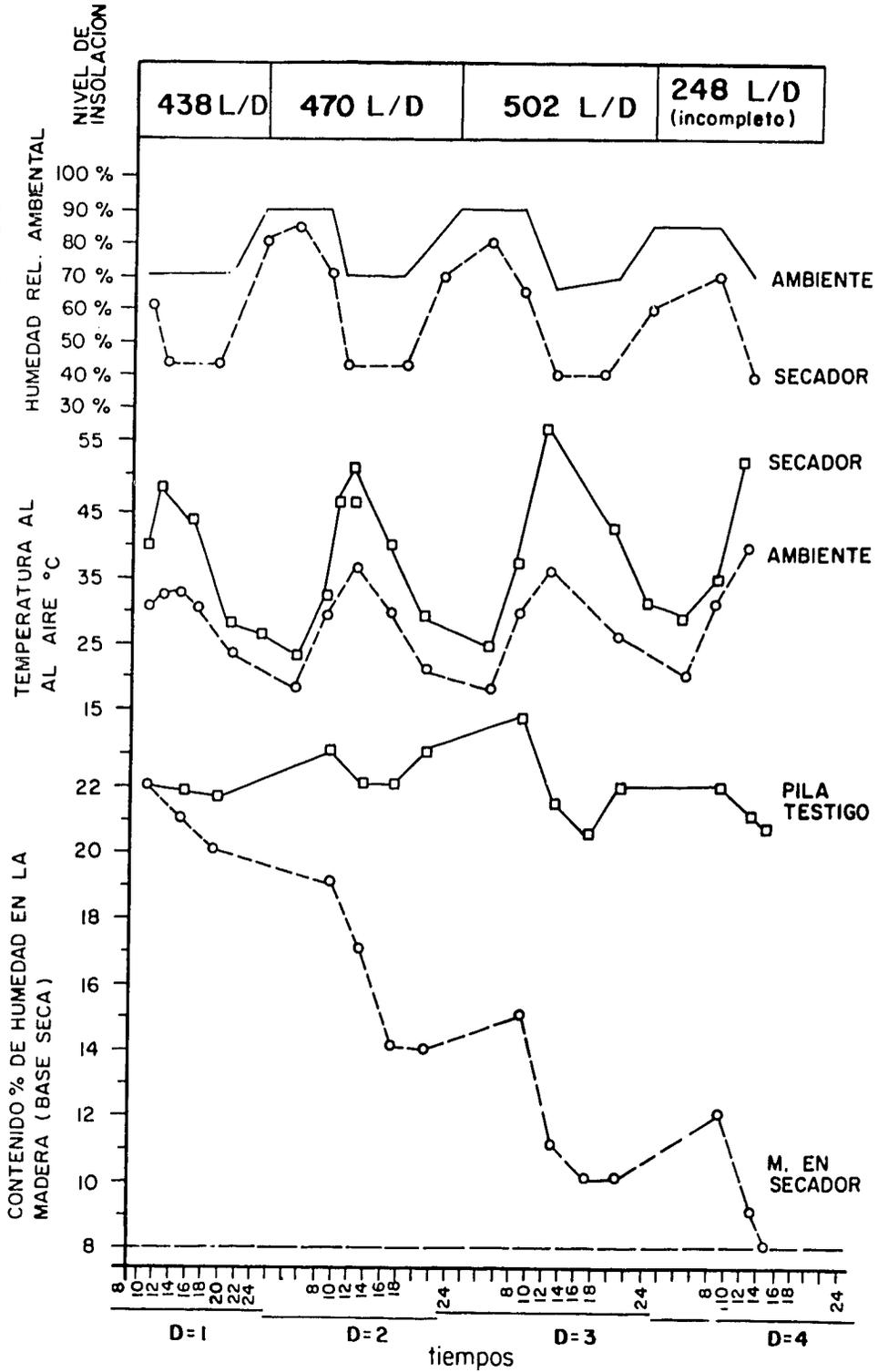
- Humedad relativa dentro del secador.
- Humedad relativa del ambiente
- Temperatura dentro del secador
- Temperatura del ambiente
- Insolación
- Contenido de humedad de los patrones

Los valores obtenidos durante la prueba se consignan en la gráfica titulada Anexo A-2.

El experimento finalizó a las 9 horas del cuarto día, cuando se procedió a medir la humedad de una de cada diez tablillas y la que resultó estar entre 7 y 10%. De las 65 tablillas examinadas (no eran las mismas sesenticinco tablillas que se examinaron al principio de la prueba) se obtuvieron los siguientes resultados: cuarentidós tenían 8.5% de humedad, trece, el 8%, cuatro, el 7.5; tres, el 9.0; dos, el 10%, y una, el 7%. Por consiguiente el lote se podía considerar con un 8.5 por ciento de humedad en promedio.

Conclusión: La humedad se redujo del 22% al 8.5% en tres días y fracción.

COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DENTRO Y FUERA DEL SECADOR



ANEXO A-2

Cálculo de la eficiencia térmica del secador

a) Ecuación usada

Emplearemos la ecuación de Wengert para el cálculo de vaporización de agua en madera, expresada en el S.I., así:

$$\text{Cal Vap} = 585 + 277.78e^{-14m} \quad (\text{kcal/kg})$$

En esta ecuación m es la humedad de la madera, en base seca y expresada como porcentaje; $e = 2.71828$

b) Peso total de la madera puesta a secar.

$$\begin{aligned} \text{Volumen de la madera} &= 1315 \text{ pt} = 3103 \text{ litros} \\ \text{Densidad madera seca} &= 0.4 \text{ Kg/litro} \\ \text{Peso seco madera total} &= 0.4 (3103) = 1241.2 \text{ kg} \end{aligned}$$

c) Calor requerido para secar el lote de madera

Con base en la ecuación de Wengert, se obtuvieron los resultados consignados en la tabla siguiente. La humedad inicial de la madera fue de 22% y la final, de 8.5%.

Intervalo descenso humedad	valor medio %	calor de vaporización por kg	calor total requerido (kcal)
22-20%	21	599.7	$1241.2(0.22-0.20)(599.7) = 14\ 886.953$
20-15	17.5	609.0	$1241.2(0.20-0.15)(609.0) = 37\ 794.540$
15-12	13.5	627.0	$1241.2(0.15-0.12)(627.0) = 23\ 346.972$
12-10	11	644.6	$1241.2(0.12-0.10)(644.6) = 16\ 001.550$
10- 8.5	9.25	661.1	$1241.2(0.10-0.085)(661.1) = 12\ 278.307$
TOTAL =			<u>104\ 308.320</u>

Valor aproximado que se usará = \emptyset = 104 000 kcal

d) Insumo de energía solar

Las medidas de la ventana solar del secador, es decir, el techo transparente, eran: 5 metros de largo y 2 metros de ancho.

La insolación de cada día, según las mediciones hechas en el secador fueron (en cal/cm²):

	<u>Día 1</u>	<u>Día 2</u>	<u>Día 3</u>	<u>Día 4</u>	<u>TOTAL</u>
Insolación	438	470	502	248	1 658

$$I_{total} = (200 \times 500) (1\ 658) = 165\ 800\ 000\ \text{cal}$$

$$= 165\ 800\ \text{kcal}$$

e) Energía eléctrica suministrada para los ventiladores

La energía que liberan los ventiladores se considera de igual valor que la energía eléctrica consumida por ellos.

Número de ventiladores : 4 unidades
 Potencia de cada ventilador : 1/3 Hp
 Horas de trabajo : 25 horas (3 días de 8 h y uno de 1h)

$$E_c = 4(1/3) 0.746 (25) = 25\ \text{kW-h} = 21\ 500\ \text{kcal}$$

f) Eficiencia total térmica del calentador

$$E_T = \frac{\emptyset}{I_{total} + E_c} = \frac{104\ 000}{165\ 800 + 21\ 500}$$

$$\underline{E_T = 0.555}$$

ANEXO A-3 Comparación del secado solar artificial con otros métodos de secado, para lotes de madera de características idénticas.

	<u>% Humedad Final Madera</u>	<u>días Duración del Secado</u>	<u>pt/día Rendimiento por m² de construcción</u>	<u>Consumo de energía eléctrica + combustible por cada 1 000 pt/día</u>
Secado solar natural	14	180	2	0 kW
Secado en secador de aire calentado (diesel-vapor)*	6-8	5-10	35	48 kW 8.4gal/diesel
Secado en deshumecedor	10-11	20	10	26.4 kW
Secado solar artificial (modelo Coatepeque 2)	8-10	15	10	2 kW

* Fuente de calor: Vapor de caldera diesel.

ANEJO A-4 Cuadro resumen de secadores construidos
según tecnología ICAITI*** FEBRERO DE 1987

Propietario (industria)	Tamaño (pt./tanda)	Diseño tipo	Clase de asistencia	Lugar (país)	Costo aprox (US\$) % ICAITI	Período de Construcción Inicio/Final	Estado actual	Tipo de Taller	Observaciones
Sr. Ricardo Flores	1200-1500	Coatp.1 experim.	Se le dio equipo de ventilación	Guatemala Coatepeque	1500 45%	6/84 8/84	No existe; se trasladó a ciudad Guate.	Fab. puertas de chonte y cebro.	Primer prototipo ex- perimental***
Sr. Ricardo Flores	2000-2500	Coatp.2 demostr.	asistencia técnica(AT)	Guatemala Coatepeque	2000 0.0%	7/85 8/85	No existe; se trasladó a ciudad Guate.	Fab. puertas de chonte	Unidad de proceso, operó de 8/85 a 6/86 ***
Sr. Ricardo Flores	2000-2500	Coatp.2 experim.	Asistencia Técnica	Guatemala Guatemala	2000 0.0%	10/86 12/86	Solar finali- zado; híbrido en proceso	Fab. puertas de ciprés	primer prototipo ex- perimental solar- combustión (híbrido) en proceso
Eddie Gómez La Morona	2000-2500	Multi- orien- table	Asistencia técnica	Guatemala Coatepeque	2000 0.0%	8/85 11/86	Operando	Mueblería y alquiler de secador	Seca lotes de 1200 pt/15 días cuadro- caoba-palo blanco
Sr. Molina y Santos	2000-2500	Coatp.2	Asistencia técnica	Antigua Guatemala	2000 0.0%	6/85 7/85	Dañado	Artesanías	Propietario ausente problemas de comercia- lización y de salud**
C.A.A.V.A.	2000-2500	Coatp 2	Asistencia técnica y equipo	Valle de Angeles Honduras	2000 45%	6/85 7/85	Dañado	Escuela Páb. artesanal	Un ventarrón le voló el techo. No hay fondos para madera.**
FAMO Carlos Hasbun	2000-2500	Coatp 2 Demostr.	Asistencia técnica y equipo	Tegucigalpa Honduras	2000 45%	6/85 8/85	Operando	Mueblería	Seca 2500 pt/cuadro ó caoba cada 15 días, 60% a 12% CH.*

ANEXO A-4 (continuación)

Propietario (industria)	Tamaño (pt/tanda)	Diseño tipo	Clase de asistencia	Lugar (país)	Costo aprox. (US\$) % ICAITI	Período de Construcción Inicio/Final	Estado Actual	Tipo de Taller	Observaciones
INFUSA H. Barh	2000-2500	Coatp.2	Asistencia técnica	Tegucigalpa Honduras	2000 0.0%	2/86 3/86	Operando	Mueblería	Dueño desea hacerlo híbrido.
TRINITY	2000	Coatp.2	Asistencia técnica	Tegucigalpa	2000	2/86 3/86	Operando	Mueblería	Dueño desea hacerlo híbrido.
MADECO Str. Decaret	2000	Coatp.2	Asistencia técnica	Tegucigalpa	2000	2/86 3/86	Operando	Mueblería	Dueño desea hacerlo híbrido.
CATEMO Sr. Gándara	10000	Tipo cuarto caliente	AT Pagada por CATEMO	Villa Nueva Guatemala	5000 0.0%	10/86 12/86	Operando	Muebles a pedido	Seca simultáneamente 4 clases y 4 gruesos madera.
CR Yates	10000	Diseño ajeno	Asistencia técnica	San José C. Rica	?	8/85 12/85	Operando	Yates	Seca madera teka difer. gruesos.
Inv. Sol y Sol Str. Solano	2 000	Coatp. 2 Demost.	AT y equipo	Alajuela C. Rica	1800 50%	4/85 7/85	Operando	Artesanías Industriales	Seca dif. tipos madera y redujo rechazos de 60% 0%. Harán otro.
Carretas Joaquín Chaverri Str. Alfaro	2000-2700	Coatp.2 Demost.	AT y equipo	Sarchí C. Rica	1800 50%	6/85 9/85	Operando bien unidad estrella	carretas y artesanías	Dueño ampliará secador. Este secador ha dado origen a otros.
Carretas Chaverri 2	3000-3500	Coatp.2 con ex- tractor adicional	Asistencia técnica	Sarchí C. Rica	2500	1/87 ?	en construc- ción.	carretas y artesanías	Se terminará en Junio.

ANEXO A-4 (continuación)

Propietario (industria)	Tamaño (pt/tanda)	Diseño tipo	Clase de asistencia	Lugar (país)	Costo aprox. (US\$) % ICAITI	Período de Construcción Inicio/Final	Estado actual	Tipo de Taller	Observaciones
Talleres Morales Sr. Jorge Morales	4000	Modif. diseño ajeno	Asistencia técnica	San Isidro del G. C. Rica	1800	6/86 1/87	Iniciando operaciones	muebles	ler. secador con ventiladores verti- cales frente a pila
Taller Diafragma	5 unidades 4000 c/u	tipo cuarto caliente	Asistencia técnica	Naranjo C. Rica	6000-7000	12/85 ?	En construc- ción.	Venta de madera secada	ler. secador usa montacargas y la. venta madera seca
La Semilla de Dios Cooperativa	2000	Coatep 2 con ex- tractor.	Asistencia técnica.	La Palma El Salvador	2000	? ?	En proceso de financia- miento	artesanía y cerámica	Este proyecto de- morado x problema organización coop.
I. Gala	10000	Híbrido	AT pagada	SPS Honduras	8000	5/87 8/87	En construc- ción	bolillo de escoba	Híbrido
ASJO	10000	Modif. diseño ajeno	Asistencia técnica	Choluteca Honduras	10000	12/86 ?	En construc- ción	muebles	Serán terminados en 1987
Vasconia	5000 10000	1/2prot	AT pagada	Guatemala	3000	8/87 ?	En construc- ción	Muebles	
Podema	25000	Híbrido	AT pagada	Tegucigalpa Honduras	20000	10/87 ?	En construc- ción	bolillo de escoba	
Cosemutrah	10000	Híbrido	AT pagada	Tegucigalpa Honduras	8000	? ?	En finan- ciamiento	muebles	

ANEXO A-5 Campaña promocional.

Dado que la tecnología del secado de madera no es del completo dominio de los propietarios de los secadores, a la par de las campañas promocionales directas se produjo una serie de publicaciones sobre el tema, para facilitar la capacitación de propietarios y de encargados de secadores ya instalados, así como de otras personas interesadas.

Documentos Publicados

Promocionales:

En 1985 se publicó un folleto desplegable (D-313) del cual se han hecho dos ediciones.

Educativos:

- + Para instruir en técnicas de secado al aire libre (presecado) "Manual práctico para el secado al aire libre". Por el Ing. Jaime Valladares, programa PTT-ICAITI-ROCAP-AID (Abril de 1981).
- + Para instrucción general sobre secado de madera: Folleto "Guía de secado de Madera".
- + Para instrucción específica de secado solar de madera: folleto "Secado solar de madera".

Campaña de promoción activa:

Emprendida directamente por el Proyecto "Leña y Fuentes Alternas de Energía".

1. Charlas de promoción:

Son charlas de 1 a 2 horas, informales, que se dan a grupos de 15 a 20 personas, con el fin de preparar el camino a la introducción de secadores en las diferentes regiones de las que proceden los participantes. También se promueve la realización de un seminario formal posterior. Son gratuitas. Se han dado dos, una en Honduras (1985), y otra en Costa Rica (1986), con 38 personas en total. Como resultado directo de estas charlas se han construido tres secadores.

2. Seminarios

Consisten en la presentación formal de la tecnología y duran dos días; en cada uno de estos seminarios se incluyen visitas técnico-promocionales a uno o varios secadores de demostración. Se han realizado cuatro, así: uno en Guatemala (Febrero/87, 42 asistentes); uno en Honduras (Marzo/87, 45 asistentes); dos en Costa Rica (uno en Sarchí y otro en San Isidro del General, Enero/87, 47 asistentes en total). En estos seminarios cada participante paga una cuota.

3. Giras técnicas

Consisten en visitas de campo, hechas a secadores de demostración. Se han realizado tres giras, en las que han participado 15 personas.

Campaña de Promoción pasiva:

No es hecha directamente por el Proyecto sino por diferentes personas, así:

- a. Delegados del ICAITI en los países de C.A., mediante impresos, maquetas e información verbal.
- b. Entidades afines al ICAITI que actúan como contrapartes en los países de Centro América. Son en total, cuatro; dos en Costa Rica (CENECOOP-UNA) y dos en Honduras (CDI/PTR).
- c. Usuarios satisfechos que inducen a otras personas a usar los secadores. Por esta vía se han construido 5 secadores.
- d. Entrevistas ocasionales en las oficinas de ICAITI, con interesados. Por lo general se atiende a una o dos personas por mes; por esta vía se ha logrado la instalación de dos secadores.

ANEXO A-6. Recomendaciones para usar el secador ICAITI 87.

Operaciones previas

En un secador solar puede secarse madera con cualquier contenido de humedad, pero, para obtener mejores resultados finales y mayor productividad, es recomendable someter la madera a un presecado al aire libre, hasta que alcance una humedad estable; en estas condiciones, la humedad de la madera está en equilibrio con la del ambiente y para disminuirla, es necesario usar el secador. Se ha comprobado que la madera presecada al aire libre sufre menos deterioro durante el secado final que la que no ha sido presecada.

Rutina del secado

Se recomienda llenar el secador con la madera húmeda durante la noche o durante la madrugada, para aprovechar el hecho de que la energía solar comienza a ser aprovechable a eso de las 9 horas de la mañana. El apilado de la madera debe ser hecho con mucho esmero, ya que el éxito del secado depende mucho de la calidad del apilado. Hay dos formas de llenar el secador: apilando directamente la madera en su interior o haciendo las pilas en el exterior y luego introduciéndolas con cargadores o montacargas.

Cuando ya haya sido cargado el secador, se toman muestras para control del avance del secado. Luego se cierra el secador y se ponen a funcionar los ventiladores, que han de apagarse por la tarde (el horario recomendable de ventilado es de 8:30 a 15:30 horas). Todos los días debe medirse el peso y la humedad de las muestras de guía de secado.

Observaciones

Durante los primeros días del secado de una tanda se notará que la temperatura dentro del secador no sube mucho; esto es debido al efecto de "bulbo-húmedo" que produce la madera sometida a ventilación. Al medio día, la temperatura sube no más de 5 a 8 grados centígrados sobre la del exterior. Sin embargo, conforme baja la humedad de la madera, la temperatura sube, hasta que al final del proceso, llega a unos 15 grados sobre la temperatura exterior al medio día.

Cuando las guías de control de secado muestren el contenido de humedad más bajo posible (más o menos 8%), el proceso ha terminado; sin embargo, es conveniente dejar que prosiga durante unos dos días más para asegurarse de que el secado es uniforme en todo el lote.

**ANEXO A-7 Técnicos relacionados con la construcción de
secadores solares para madera.**

Guatemala:

Diseño y supervisión:

ICAITI

Av. La Reforma 4-47 Z. 10
Ciudad de Guatemala. Tel. 310631/5.

Ing. Otto Raúl de León.
22 Av. 34-26 Z. 12. C. de Guatemala. Tel. 761516.

Ing. Iván Arriola.
ICAITI.

Construcción (no diseño)

Sr. Ricardo Flores.
Tel. 711179. C. de Guatemala.

Honduras:

Diseño y Supervisión:

Ing. Angel P. Sánchez
Ing. José López T.
Delegación ICAITI en Honduras
Centro Comercial Plaza Miraflores, 3er. Nivel
Local No. 311. Apdo. Postal 449
Comayagüela, Honduras. Tels: 310434 y 312246

Construcción (no diseño)

Ing. Carlos Hasbun
FAMO, Electrodomésticos de Honduras
Contigua a silos del IHMA. Apto Postal 1168
Tel 327019

Costa Rica:

Diseño y supervisión

Ing. Agustín Rodríguez C.
Ing. Luis Arce
Delegación ICAITI en Costa Rica
Cámara de Industrias de Costa Rica
Ave. 6, 13-15, calles Barrio González Lahman
Apto Postal 10 003 tel 23 24 11
San José Costa Rica.

construcción:

Sr. Alberto Alfaro
Fábrica de carretas Joaquín Chaverri
Valverde Vega. Alajuela. C R

ANEXO A-8 Capacidad Instalada.

A Marzo de 1987 se tenían once unidades operativas instaladas, ocho en construcción que estarán funcionando a corto plazo, dos abandonadas, y dos desaparecidas. El detalle es el siguiente:

Unidades operativas (incluye algunas demostrativas que funcionan desde que fueron terminadas):

8	de	2000-2500	pt / tanda.
1	de	4000	pt / tanda.
2	de	10 000	pt / tanda.

La capacidad real de secado en conjunto es de alrededor de 600 000 p.t. por año

Unidades en proceso (incluye varias unidades híbridas de tamaños mayores que las unidades demostrativas originales):

1	de	2 000	pt / tanda.
1	de	3 000	pt / tanda.
1	de	5 000	pt / tanda.
3	de	10 000	pt / tanda.
1	de	20 000	pt / tanda.
1	de	25 000	pt / tanda.

Se estima que estas unidades ya en operación (al 90 % de su capacidad y tiempo) podrán secar en conjunto un total de 1 800 000 pt por año.

Unidades que no operan: son dos de 2 000-2 500 pt/tanda.

Unidades desaparecidas son: una de 1 200 pt/tanda, y otra de 2 000-2 500 pt/ tanda.

ANEXO A-9 Análisis del éxito obtenido y sus orígenes.

Unidades diseñadas por ICAITI:

Exitosas:

Cinco de las once unidades ya instaladas y que están actualmente en operación, han tenido una productividad mayor que la prevista. En los meses de insolación baja, producen a capacidad plena; en los meses de insolación moderada, es posible secar un 10-15% más de su capacidad de diseño normal y en los meses de insolación elevada, hasta un 25% más.

El origen de este éxito es la organización implantada por sus propietarios y operadores; por ejemplo, se tiene:

- 1- Los encargados y propietarios tienen mentalidad abierta y están dispuestos a ser capacitados sin discutir su capacidad personal (no polemizan con el técnico).
- 2- Se ha designado un encargado idóneo
- 3- Se le ha dado capacitación al encargado (ICAITI).
- 4- El propietario es consciente y está decidido a respetar las recomendaciones, sin esperar milagros.
- 5- Los propietarios de antemano sabían que los problemas ajenos al secado no pueden ser corregidos con el secado.

Aceptables:

Seis de las once unidades ya instaladas operan entre un 60% y 90% de su capacidad de diseño. En estos casos, se ha hallado lo siguiente:

- 1- No hay encargado, o el que hay no es idóneo.
- 2- El propietario se mantiene muy ocupado y alejado del secador y sus problemas.
- 3- Proprietarios y encargados son personas con pocos antecedentes técnicos sobre secado, despreocupados y, tienen mayor interés en la comercialización que en la calidad técnica del proceso de secado.

Unidades que no operan:

Son dos, y ambas tienen en común lo siguiente:

- 1- Un propietario muy despreocupado por el secador.
- 2- Las personas relacionadas con el secador son poco conocedoras del ramo de la madera, del secado y de la comercialización.

Una de las dos unidades estuvo funcionando durante algún tiempo, pero el propietario tuvo un problemas con el envío y los trámites aduanales para la exportación de sus productos (artesanías); esto le desanimó y abandonó la empresa y, con ella, el secador. El otro secador estaba bajo control de una institución de capacitación pública, sin tener realmente un propietario o encargado. Aparte de eso, no había disponibilidad continua de fondos para comprar madera y por eso fue descuidado, fue objeto de vandalismo y, finalmente, sufrió daños en el techo por causa de un ventarrón.

Unidades ya inexistentes, que sí funcionaron:

Fueron dos, y corresponden a modelos experimentales que fueron desmanteladas para trasladarlas a otra localidad donde fueron nuevamente contruidas con la adición de un quemador para aserrín y viruta (Secador Híbrido).

Unidades que no se llegaron a construir:

Son tres, una en cada país (Guatemala, Honduras, Costa Rica). En dos casos lo que impidió su construcción fue la carencia de fondos propios y la falta de fuentes de financiamiento. Y una tercera unidad no fue construida porque el interesado destinó a otro fin el dinero que originalmente tenía para ella.

Vale la pena dejar dicho que son dos los problemas que han afrontado las personas interesadas y que no pudieron construir su secador:

- 1- Escasez de fondos, y dificultad de financiamiento (los potenciales financiadores, por tratarse de una tecnología nueva que desconocen, no desean arriesgarse)
- 2- Algunos interesados pretenden obtener del secador productividades muy elevadas, casi milagrosas, a precios de instalación muy bajos; esto hace que sea virtualmente imposible diseñar una unidad que reúna tales requisitos.

Secadores solares e híbridos no relacionados con ICAITI:

Se ha sabido de tres. En Costa Rica se conoce un secador solar simple, que opera en forma ocasional, con resultados no muy satisfactorios, según el encargado. En Honduras se tiene referencia de un secador híbrido y se sabe de varios diseños que han sido propuestos por personas independientes y por entidades. Se sabe, sin comprobación, de que en Guatemala fue construida una unidad copiada del modelo Coatepeque 2.

Unidades que Icaiti modificó:

Son tres, en las cuales los diseñadores o abandonaron su responsabilidad, o bien el diseño no satisfizo al propietario, dos de ellas en Costa Rica y otra en Honduras. Dos ya fueron modificadas y operan en mejor condición que originalmente; la otra está en ejecución. En ellas se han hallado problemas con el diseño y con los materiales usados:

1- Se notó la tendencia a hacer las paredes con película doble plástico, pretendidamente con objeto de aumentar la captación de energía solar, pero esto no es beneficioso, pues no sólo se pierde calor, sino que se daña la madera porque recibe sol directamente.

2-Se ha hallado que el diseño no permite una adecuada circulación del aire, pues en unos casos se ocupa demasiado volumen con la carga de madera, lo que obstruye el paso y la distribución del aire. Y en otros, se ha notado que los ventiladores no tienen ni la potencia ni la orientación necesarias; tampoco tienen bien dispuestos los mecanismos de evacuación del aire ya trabajado y húmedo.

3- Se halló que en la estructura de algunas unidades se han usado materiales con espesores mayores que lo recomendable, lo que aumenta innecesariamente el peso y el costo.

ANEXO A-10 Contrapartes involucradas, función y efectividad.

En el caso de los secadores para madera aserrada, el papel de las contrapartes no ha sido de importancia, ya que la difusión ha sido hecha por el ICAITI a través de las Delegaciones y de los usuarios satisfechos que han pasado la voz a terceros. Enfocando por países tenemos:

Guatemala: La diseminación ha sido hecha directamente por el ICAITI y a través de los usuarios satisfechos y sin que haya mediado contraparte alguna.

Costa Rica: Se ha tenido la colaboración de dos contrapartes:

(1) CENECOOP (Centro de Estudios y Capacitación Cooperativa); es una entidad del movimiento cooperativista costarricense, encargada de capacitación, en este caso, entre los asociados de talleres de ebanistería y carpinterías; CENECOOP ha organizado charlas y conferencias que han apoyado la diseminación (1987).

(2) UNA (Universidad Nacional) ha promovido charlas y un seminario. En Costa Rica, dos unidades demostrativas (Sol y Sol, y Fábrica de Carretas J. Chaverri), han sido generadoras de otras dos (Diafragma y C.R. Yates), mientras que las contrapartes sólo generaron una unidad (Talleres Morales). Se estima que ninguna de las dos contrapartes citadas está en capacidad de diseñar y contruir secadores.

Honduras: En este país sólo se ha tenido una contraparte: CDI-PTR. El CDI (Centro de Desarrollo Industrial) es una dependencia del Ministerio de Economía de este país, encargada de financiamiento de proyectos industriales. El PTR (Programa de Tecnologías Rurales) funciona con financiamiento de AID y se encarga de promover tecnología adaptada y mejorada para la región rural. CDI y PTR trabajan juntos y han sido promotores de charlas y de presentaciones técnicas, de las que se han originado dos unidades, (FAMO y CAAVA).

La unidad de FAMO ha sido la que ha promovido tres unidades más, modelos de 2000 -2500 pt/tanda. Esto ha servido para que la Delegación de ICAITI en Honduras pueda presentar y promocionar otras varias unidades, pero de otro tipo: secadores híbridos de mayor capacidad instalada. Creemos que CDI-PTR, podría supervisar la instalación de secadores, pero no diseñarlos, ni capacitar encargados, labor exclusiva de ICAITI.

ANEXO A-11 Bibliografía sumaria.**A) Publicaciones del ICAITI**

1. Valladares, Jaime. "Manual Práctico para el secado de madera al aire libre". (ICAITI). Guatemala 1981.
2. Valladares, Jaime. "Secado solar de madera". (ICAITI), Guatemala 1981.
3. ICAITI "Informe final 2a. Fase del Proyecto: Estudio para determinar los ciclos de secado y los procedimientos preservación más adecuados para madera centroamericanas". Guatemala 1980.

B) Publicaciones del Proyecto de "Leña y Fuentes Alternas de Energía"

1. Guía de secado de madera. ICAITI (1986)
2. Secado solar de madera ICAITI (1987)

C) Publicaciones extranjeras sobre secado de madera/energía solar

1. Tschernits, John & Simpson William. "FPL design for lumber dryer kiln using solar/wood energy in tropical latitudes". Forest Products Laboratory, Madison Wi, USA. 1985.
2. Messel, H. y Butler S.T. "Solar Energy". Pergamon International Library (1974).
3. Brace Res. Inst. "A survey of solar agricultural dryers". Tech., Report T-99 Dec. 1975, Fac. de Eng. Mc. Graw Hill University, Quebec, Canada. (1975)
4. Virginia Tech. "Solar Heated Lumber Dryer for the Small Business" MT No. 20. Virginia Cooperative Extension Service, USA 1980.

5. Cuppet, Donald G. "Use of solar energy in drying lumber". U.S. Dept. Agricult. Forest Products Marketing Laboratory, Princenton W. VA. 1975
6. AID "Solar Kilns; feasibility of utilizing solar energy for drying lumber in developing countries". US Dept. of Agriculture, Forest Service, Madison, WI 1977.
7. Solano G., Roger "Diseño y construcción de un secador solar de maderas". I.T.C.R. (Costa Rica 1980).

ANEXO A-12 Lista de informes técnicos y otras publicaciones del ICAITI correspondientes al Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía.

1) PUBLICACIONES EN EL PERIODO 1980-1987

Título	Año	Precio (US\$)
- Leña y Fuentes Alternas de Energía: Estudios sobre leyes y políticas en América Central	1983	3.00
- Manual de construcción y operación. Planta de biogás	1983	2.00
- Manual de construcción y operación. Planta económica de biogás	1983	2.00
- Biogás: información general	1983	2.00
- Informe técnico de biogás. (Ensayos de sustrato)	1984	2.00
- Aplicaciones de biogás y bioabono	1985	2.00
- Digestor para biogás. Construcción convencional (Hoja de datos técnicos)	1984	0.50
- Digestor para biogás. Construcción de bajo costo (Hoja de datos técnicos)	1985	0.50
- Estufas domésticas: Pruebas de eficiencia energética	1984	3.00
- Estudio sobre la introducción y adopción de estufas de leña en cinco comunidades de Guatemala	1983	3.00*
- Manual de construcción y operación Estufa Chulah	1983	2.00*
- Manual de construcción y operación Estufa Lorena	1983	2.00
- Estufa de cerámica. Manual de construcción y operación	1985	2.00

* Publicación agotada; disponible solamente en fotocopia.

Publicaciones en el período 1980-1987 (Cont).

Título	Año	Precio (US\$)
- Manual para estufas de uso colectivo. Construcción y operación	1984	2.00
- Producción de panela, con bagazo de caña	1987	2.00
- Informe del desarrollo de una estufa de cerámica	1985	2.00
- Colector solar plano. Manual para la fabricación	1986	2.00
- Aplicaciones de energía solar	1983	3.00
- Secado solar de granos.	1985	3.00
- Secadores solares Carpa y Wengert Construcción-uso-mantenimiento	1985	2.00
- Secado de madera	1986	2.00
- Conservación de productos marinos	1985	2.00

2) INFORMES FINALES, DISPONIBLES A PARTIR DE 1988

Título	Precio (US\$)
- Aprovechamiento energético de biogás	3.00
- Digestor para biogás, construcción convencional	3.00
- Digestor para biogás, construcción de bajo costo	3.00
- Digestores especiales para biogás	3.00
- Aprovechamiento de efluentes de biodigestores	2.00
- Horno de leña para cal	1.00
- Horno de leña para producción de sal	1.00
- Estufas domésticas mejoradas: cerámica prefabricada	3.00
- Estufas industriales de leña	3.00
- Estufas domésticas mejoradas: Lorena y similares	3.00
- Hornilla para panela	2.00
- Hornos de leña para pan	3.00
- Horno para ladrillos	3.00
- Hornos para carbón vegetal	3.00
- Gasificador de biomasa	1.00
- Uso de energía solar y biogás para pasteurizar leche	3.00
- Pequeño secador para piña (Solar-combustión)	2.00

Publicaciones disponibles en 1988 (Cont)

<u>Título</u>	<u>Precio (US\$)</u>
- Secador para cacao y granos. Solar-combustión	2.00
- Secado de madera aserrada. solar-combustión	4.00
- Calentador solar para agua	3.00
- Salinas solares	3.00
- Secamiento solar de pescado	3.00
- Curado solar de cebolla	3.00
- Secado solar de leña y bagazo de caña	1.00
- Secadores solares para fruta	3.00