



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**PROPUESTA DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA SECCIÓN DE
TECNOLOGÍA DE LA MADERA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE
INGENIERÍA, USAC**

Oscar Bernardo Diemek Núñez

Asesorado por el Ing. Hernán Leonardo Cortés Urioste

Guatemala, febrero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA SECCIÓN DE
TECNOLOGÍA DE LA MADERA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE
INGENIERÍA, USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

OSCAR BERNARDO DIEMEK NÚÑEZ

ASESORADO POR EL ING. HERNÁN LONARDO CORTÉS URIOSTE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Inga. Nora Leonor García Tobar
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA, USAC

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha octubre de 2010



Oscar Bernardo Diemek Nuñez

Guatemala, 14 de noviembre del 2011

Ingeniero
César Urquizú, Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Ingeniero Urquizú:

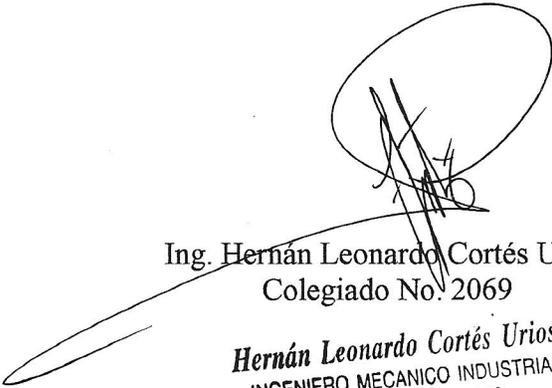
Atentamente me dirijo a usted con el propósito de presentarle el trabajo de graduación titulado "PROPUESTA DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA SECCION DE TECNOLOGIA DE LA MADERA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA, USAC" elaborado por el estudiante Oscar Bernardo Diemek Núñez.

En mi calidad de asesor, considero que el trabajo presentado por el estudiante Diemek Núñez es un aporte al importante tema de la energía renovable.

Con base en lo anterior, ruego a usted se sirva dar el visto bueno para que el presente trabajo sea presentado ante las máximas autoridades de la Facultad, a fin de que emitan el dictamen correspondiente y si así lo consideran, extiendan el título respectivo al estudiante mencionado.

Agradeciendo su atención a la presente, aprovecho la oportunidad para reiterarle las muestras de mi consideración.

Atentamente,



Ing. Hernán Leonardo Cortés Urioste
Colegiado No. 2069

Hernán Leonardo Cortés Urioste
INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 2.069



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA, USAC**, presentado por el estudiante universitario **Oscar Bernardo Diemek Núñez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Nora Leonor Elizabeth García Tobar
Ingeniera Industrial
Colegiada No. 8121

Inga. ~~Nora Leonor Elizabeth García Tobar~~
Catedrática Revisora de Trabajos de Graduación
Escuela Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2011.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

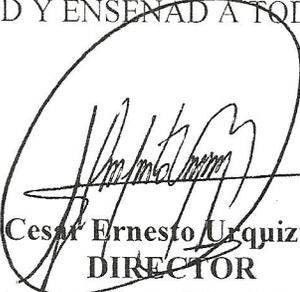


FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.028.012

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA, USAC**, presentado por el estudiante universitario **Oscar Bernardo Diemek Núñez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



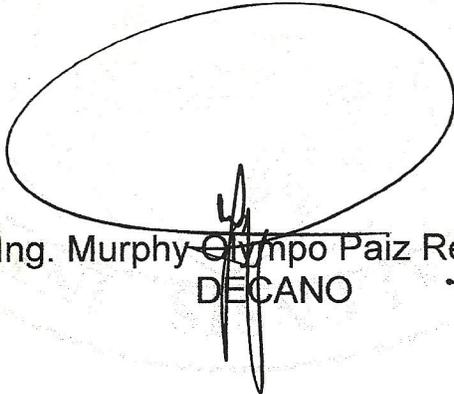
Guatemala, febrero de 2012.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA, USAC**, presentado por el estudiante universitario: **Oscar Bernardo Diemek Núñez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Reginos
DECANO



Guatemala, febrero de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

María Lucrecia Núñez Flores, Edgar Arturo Diemek Díaz por ser fuente de orientación, guía y amor.

Mis hermanos

Edgar Marco Alejandro, Diego Andrés, Gustavo Arturo Diemek Núñez para ser un vivo ejemplo de alcanzar metas propuestas

Las familia Núñez, Flores, Diemek, Díaz,

Por ser ejemplo de trabajo, superación y amor.

Lissa María Ponciano Jurado

Por su apoyo incondicional, motivación y amor.

Mis compañeros de universidad y amigos

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por cuidar de mí en todo momento y ser fuente de sabiduría.
Virgen María	Por estar a mi lado y protegerme siempre.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de seguir mis estudios profesionales.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme tanto conocimiento.
Sec. Tecnología de la Madera	Todos los integrantes, por abrirme las Puertas, brindarme su amistad y conocimiento en este trabajo de graduación.
Mis asesores	Ing. Hernán Cortés Urioste, Inga. Ericka Cano Díaz, por la valiosa asesoría en este trabajo de graduación.
Los profesionales	Ing. Pablo de León, Inga. Nora García, Ing. Esdras Miranda.
Mis amigos del Centro de Investigaciones de Ingeniería	Sección de tesorería y secretaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES GENERALES DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA Y SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA.....	1
1.1. Qué es el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII)	1
1.2. Antecedentes del CII.....	1
1.2.1. Políticas del CII	3
1.2.2. Objetivos	4
1.2.3. Funciones.....	5
1.2.4. Recurso humano.....	6
1.2.5. Cuerpo ejecutivo	7
1.2.6. Ubicación	7
1.2.7. Visión	7
1.2.8. Misión	8
1.2.9. Organigrama general	8
1.3. Qué es la sección de Tecnología de la Madera.....	9
1.4. Antecedentes de la sección de Tecnología de la Madera.....	10

2.	EVALUACIÓN, ESTUDIO Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES	
	SOBRE SECADO DE MADERA Y RETENCIÓN DE CALOR.....	11
2.1.	Antecedentes generales de hornos secadores de madera en Guatemala.....	11
2.2.	Conceptos fundamentales de secado	12
2.3.	Proceso para secado de la madera.....	14
2.4.	Tipos de secado de madera	14
2.4.1.	Al aire libre	14
2.4.2.	Artificial.....	15
2.4.3.	Mixto	15
2.5.	Cantidad de energía necesaria para secar madera.....	15
2.5.1.	Cantidad de energía aportada por el sol, radiación.....	16
2.6.	Elementos idóneos para almacenamiento de calor	17
2.7.	La piedra como elemento de almacenaje de calor	18
2.8.	Cantidad de calor que pueden absorber las piedras	18
2.9.	Psicometría del secado	20
2.10.	Metodología	21
2.11.	Técnicas	21
2.12.	Ubicación del secador en la línea de producción	22
2.13.	Densidad de la madera húmeda	22
2.14.	Cantidad de agua removida por metro cúbico de madera.....	23
2.15.	Calor específico de la madera húmeda.....	23
2.16.	Entalpía y humedad del aire.....	25
2.17.	Tiempo de secado neto.....	27
2.18.	Tiempo de secado real.....	27
3.	UBICACIÓN ESPECÍFICA EN LA SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA, EN EL ÁREA DE PREFABRICADOS, USAC.....	29
3.1.	Ubicación en campus central de la USAC.....	29
3.2.	Área propuesta para el secador de madera	29
3.2.1.	Condiciones idóneas en el área propuesta.....	29

3.2.2.	Ubicación para mayor cantidad de recepción solar posible.....	30
3.3.	Preparación del suelo para la ubicación del horno y el contenedor	30
3.4.	Área propuesta para el contenedor de piedras	30
4.	FUNCIONAMIENTO, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y TÉCNICAS DE EQUIPO Y ACCESORIOS DEL SECADOR SOLAR.....	31
4.1.	Funcionamiento de paneles solares	31
4.2.	Funcionamiento general.	32
4.3.	Características físicas del horno	32
4.4.	Estructura y cimentaciones del contenedor de piedras.....	33
4.5.	Estructuras que relacionan el horno y el contenedor	34
4.6.	Estructuras y cimentaciones del horno	34
4.7.	Volumen interno de secado	35
4.8.	Volumen de la madera a secar	35
4.9.	Descripción de los materiales a utilizar para construir el horno	35
4.10.	Descripción de los elementos extras del horno y del contenedor	36
5.	MEDIO AMBIENTE	37
5.1.	Niveles de contaminación provocados por los hornos a base de carburantes.....	37
5.2.	Beneficios para el medio ambiente al no utilizar carburantes cambiándolos por paneles solares.....	38
6.	INTEGRACIÓN DE COSTOS Y POSIBLES GASTOS SEMESTRALES PARA MANTENIMIENTO.....	41
6.1.	Costos generales para la construcción del horno y del contenedor... ..	41
6.2.	Costos de los paneles solares	42
6.3.	Costos del material necesario para el montaje	43

6.4.	Costo de los accesorios necesarios para la implementación	44
6.5.	Análisis financieros contra otro tipo de secadores	44
7.	MEJORA CONTINUA.....	47
7.1.	Mantenimiento.....	47
7.2.	Tipo de mantenimiento para el horno.....	48
7.3.	Frecuencia para realizar el mantenimiento.....	49
7.4.	Beneficios de realizar el mantenimiento	49
CONCLUSIONES.....		51
RECOMENDACIONES		53
BIBLIOGRAFÍA.....		55
APÉNDICES.....		57
ANEXOS.....		61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Organigrama general CII.....	9
2. Diagrama carta psicometría aire – vapor de agua	20
3. Cantidad de calor en la madera – tiempo de secado	25
4. Diagrama de temperatura – humedad	26
5. Contenedor para almacenar piedras.....	33
6. Estructura física y cimentación del horno.....	34

TABLAS

I. Descripción de recursos humanos en CII.....	6
II. Descripción de diferentes elementos – calor específico.....	19
III. Capacidad de almacenamiento de energía	24
IV. Costos para construcción de estructura de horno	41
V. Costos para contenedor y base de contenedor.....	42
VI. Costos de paneles solares	42
VII. Costos de materiales necesarios para el montaje.....	43
VIII. Costos de electricidad, iluminación y fuerza.....	43
IX. Costos de accesorios	44
X. Total gastos a realizar	44

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cal / min / cm²	Caloría minuto centímetro cuadrado unidad de medida de constante solar.
Hp	<i>Horse power</i> unidad de medida de caballos de fuerza.
J	Joule. Unidad de medida de energía.
Kcal / Kg °C	Kilo caloría sobre kilogramo grado Celsius. Unidad de medida de calor específico.
Kcal / m³ °C	Kilo caloría sobre metro cúbico por grado Celsius unidad de medida de capacidad calorífica.
Kg / m³	Kilogramo sobre metro cúbico. Unidad de medida de densidad absoluta.
Kg / m⁻³	Kilogramo sobre metro a la -3. Unidad de medida de densidad inicial de la madera.
Kj / °C – m²	Kilo Joule sobre grado Celsius metro cuadrado. Unidad de medida del almacenamiento de calor.
m³	Metro cúbico. Unidad de medida de volumen.

V Voltio unidad de medida de potencial eléctrico y automotriz.

W / m² *Watts* sobre metros cuadrados. Unidad de medida de la intensidad de la radiación.

GLOSARIO

Anhidro	Denominación que se utilizaba antiguamente para referirse a los óxidos no metálicos.
Biodiesel	Líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo, para uso en motores.
Bulbo húmedo	Cálculo de la humedad relativa del aire con un termómetro de mercurio cuyo bulbo está húmedo.
Bulbo seco	Cálculo de la humedad relativa del aire con un termómetro de mercurio cuyo bulbo está seco.
Carburante	Sustancia química, compuesta de hidrógeno y carbono, que, mezclada con un gas, se emplea como combustible.
Celulosa	Hidrato de carbono que es el componente básico de la membrana de las células vegetales.
Densidad aparente	Es el peso seco de una unidad de volumen de suelo.
Entalpía	Magnitud termodinámica de un cuerpo físico o material, equivalente a la suma de su energía interna más el producto de su volumen por la presión exterior.

Enzimas	Molécula formada, principalmente, por la proteína que producen las células vivas.
EPS / FI - USAC	Ejecución de práctica supervisada, Facultad de Ingeniería de La Universidad de San Carlos de Guatemala.
Escala piloto	De forma provisional, hasta que se demuestre la calidad y valía de alguna cosa.
Fototérmica	Proceso que convierte la radiación solar en calor y lo transfiere a un fluido de trabajo.
Fotovoltaicos	Material o dispositivo que convierte la energía luminosa en electricidad.
Hidrocarburos	Cada uno de los compuestos químicos resultantes de la combinación del carbono con el hidrógeno.
Higroscópico	Es la capacidad de algunas sustancias de absorber o ceder humedad al medio ambiente.
Isobárica	Que tiene presión contante.
Lixiviación	Proceso en el que un disolvente líquido se pone en contacto con un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno de los componentes del sólido.
Metrología	Ciencia que tiene por objeto el estudio de los sistemas de pesas y medidas.
Monóxido de carbono	Compuesto químico cuya formula química es CO , es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico.

Ortotrópico	Comportamiento elástico de un material.
Óxido de azufre	Producto de la oxidación del azufre.
Óxido de nitrógeno	Compuesto que resulta de la combinación de un elemento metal o un metaloide con el oxígeno.
PSI	Unidad de presión básica en el sistema ingles, que se expresa en libra fuerza por pulgada cuadrada (lb/in ²).
Trabajabilidad de la madera	Conjunto de propiedades o características que posee una determinada madera con relación a su respuesta al trabajo manual o a la acción de las herramientas manuales o eléctricas.

RESUMEN

Con el aumento constante de los niveles de contaminación mundial por el uso de combustibles como: el carbón, la gasolina y el petróleo, y el inicio de actividades de la sección de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se genera la propuesta de diseñar un secador solar para secar madera el cual trabaja de una manera sencilla y sin generar índices de contaminación.

La USAC no cuenta con este tipo de tecnología la cual es fácil de utilizar y con diversidad de aplicaciones.

El funcionamiento del secador de madera es sencillo, se inicia con la obtención de la energía infinita proveniente del sol, la cual se absorberá por medio de paneles solares o colectores de calor colocados en la parte superior del almacenador de calor, éste es un contenedor común y corriente relleno de piedras de río que oscilen entre 25 y 45 cm de longitud.

El contenedor tendrá un vínculo físico con el secador por medio de un sistema laminado para trasladar el calor del contenedor al secador, flujo de calor que se logrará por medio de un motor ventilador que impulsará el calor al secador, ya trasladado el calor al secador, el cual está formado por una estructura de hormigón con columnas reforzadas y losa de concreto, diseñada para la circulación del aire caliente y con sus accesorios como: medidores de temperatura, humedad y una serie de clavijeros metálicos, para la colocación de las tablas, tablillas, vigas, columnas, regletas o cualquier otra presentación de madera que vaya a ser objeto de investigación o estudio y que permanecerá en el horno hasta obtener el nivel de humedad deseado.

Tomando en cuenta que los costos para ponerlo en marcha serán la construcción del secador, la adquisición de los paneles solares, la compra del contenedor, de piedras, de accesorios, de tecnología y el respectivo mantenimiento periódico que se le debe dar, es una inversión razonable y con una fuente de energía que no tendrá ningún valor. Será ejemplo para industrias y personas individuales que deseen aprovechar la amplia variedad de recursos no contaminantes que posee el planeta y para la sección de Tecnología de la Madera será de gran beneficio por la investigación, docencia, extensión y servicio. Siendo una propuesta que se genera a nivel piloto.

OBJETIVOS

General

Diseñar un secador para madera solar, con almacenamiento de calor automático en un contenedor con piedras o rocas para la aplicación de proyectos, docencia, investigación y servicio en la sección de Tecnología de La Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Proponer un secador en la sección de Tecnología de la Madera debido a que se están iniciando actividades de investigación, siendo una fuente más de temas para el estudio acerca de la madera y sus propiedades en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.
2. Diseñar el horno para que se realicen investigaciones que presenten las ventajas resultantes del secado artificial de la madera.
3. Servir de ilustración para las personas que deseen aprovechar la energía solar como una fuente más de energía que al ser utilizada de la manera correcta pueda dar excelentes resultados, y hacer más eficientes los procesos.
4. Demostrar que existen fuentes de energía renovable como la solar, la cual se puede explotar, evitando así el uso excesivo de carburantes y disminuyendo la contaminación que provocan.

5. Comprobar que se pueden utilizar otras fuentes de energía para el secado de madera, siendo rentables y eficientes, logrando resultados similares o mejores que los obtenidos con otros tipos de energías.
6. Colaborar con el diseño del horno secador para apoyar todos los posibles temas de investigación que se estén realizando, en los cuales sea necesaria la utilización de secado de madera.

INTRODUCCIÓN

El secado de la madera aserrada constituye una de las etapas más importantes de su proceso de preparación para la remanufactura, para obtener así un producto final de alto valor agregado. Los requerimientos de estabilidad dimensional y cualidades de trabajabilidad exigidas para las maderas a procesar, son fundamentales para la calidad final del producto. Esto es posible obtenerlo con maderas cuyo nivel de humedad se aproxime al estado de equilibrio con el ambiente que lo rodea.

El secado consiste en extraer el agua de la madera. En el proceso de secado sólo se extraen el agua libre y el de saturación. Extraer el agua de constitución, implicaría la destrucción de la madera.

Para alcanzar las condiciones antes mencionadas, la madera conforme el paso del tiempo y colocada en un lugar fresco, sin exposición a la humedad de la noche, condiciones de lluvia o exposición directa del sol llegará a un secado, pero por condiciones de tiempo y calidad deberá someterse a un proceso de secado de tipo artificial. La tecnología a utilizar en el tratamiento de la madera durante la etapa del secado es un factor decisivo, para obtener un producto óptimo. El contenido de humedad deberá ser específico para maximizar el aprovechamiento en los procesos de elaboración.

En tal virtud, el presente trabajo de graduación propone un horno que trabaja con energía eléctrica y solar para el secado de madera, el cual será de gran utilidad para la realización de proyectos, la docencia, la investigación y el servicio en la sección de tecnología de la madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Implementar un contenedor para almacenar el aire caliente que se obtenga de los paneles solares. El calor dentro del contenedor se almacenará en un tipo específico de piedras, del que se estima será necesario un total de 6m^3 . Al introducir aire por medio de motores al contenedor, éste se distribuirá al horno secador que se propone.

Los costos de secado, constituyen otro factor determinante en la decisión de considerar o no la posibilidad de aplicar un secado artificial, pero esta propuesta está enfocada en un secador a escala piloto, lo cual da un factor determinante para la cantidad de producción a realizar con una cantidad promedio de 10m^3 .

Considerando un volumen útil de 18m^3 , permite secar hasta 150 tablas de $1'' \times 12'' \times 16''$ o 300 tablas de $2'' \times 4'' \times 16''$, con un promedio de 10 a 15 días dependiendo de los niveles de humedad de la madera, así como del tipo de madera. El tiempo de secado puede variar según las condiciones climáticas, pero se tiene planeado que cuando las mismas no beneficien las condiciones ideales para el secador, se puedan emplear otras alternativas de secado utilizando las instalaciones del horno propuesto.

Esta propuesta se basa en la aplicación de un secado con base en la transformación de la energía solar en energía térmica y cuando las condiciones para el funcionamiento solar no sean las adecuadas poder utilizar técnicas alternativas, aprovechar por completo la energía solar, para ajustar la temperatura del bulbo seco y un sistema de ventilación automático, para la extracción de humedad que permita ajustar la temperatura del bulbo húmedo, y así obtener la mayor eficiencia del secador y reducir el tiempo, simulando un secador convencional.

1. ANTECEDENTES GENERALES DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA Y SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA

1.1. Qué es el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII)

Este Centro presta sus servicios a entidades públicas y privadas, gubernamentales y no gubernamentales, así mismo, a personas individuales que buscan la solución a problemas técnicos específicos, en las áreas de la Construcción, Ingeniería Sanitaria, Metrología Industrial y Química Industrial, Tecnología de la Madera, Topografía y Catastro, y Seguridad Industrial.

1.2. Antecedentes del CII

El Centro de Investigaciones de Ingeniería fue creado por Acuerdo del Consejo Superior Universitario de fecha 27 de julio de 1963 y está integrado por todos los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La base para constituir el Centro, fue la unificación de los laboratorios de Materiales de Construcción de la Facultad de Ingeniería y de la Dirección General de Obras Públicas en 1959. La subsiguiente adición a los mismos, del laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria en 1962 en unión de otros laboratorios docentes de la Facultad de Ingeniería. En 1965 se agregó al CII, el Laboratorio de Análisis de Aguas de la Municipalidad de Guatemala.

En 1977 se establecieron las unidades de investigación en Fuentes no Convencionales de Energía y Tecnología de Construcción de la Vivienda. En 1978 fue creado el Centro de Información para la Construcción (CICON), el cual se encuentra adscrito al CII. En 1980, unieron esfuerzos, la Facultad de Arquitectura y la Unidad de Tecnología de la Construcción de Vivienda para organizar el Programa de Tecnología para los Asentamientos Humanos, del cual se generaron múltiples relaciones nacionales e internacionales.

En 1997 se adhirió al CII la planta piloto de extracción-destilación, cuyo funcionamiento apoyó tanto a la investigación, como a la prestación de servicios, se inició en la década de los 90. En este mismo periodo, se consideró la ampliación del Laboratorio de Metrología Eléctrica, cuya formación data de muchos años. En 1999 se incrementó notablemente la participación del CII en los Programas de Investigación que se encuentran vigentes en el país, así como la vinculación internacional.

En el 2007 se inicia la ampliación en estructura del CII, con la construcción del 3er nivel del edificio T-5 y de un edificio en el área de prefabricados; además de la remodelación y modernización de los laboratorios de química en el edificio T-5, los cuales fueron inaugurados en el año 2008.

En el 2009 se crea el Laboratorio de Investigación en Extractos Vegetales (LIEXVE), antes planta piloto de extracción-destilación, como parte de la sección de Química Industrial. Asimismo, se crea la planta piloto de extracción de biodiesel en dicho laboratorio, en el mes de agosto de 2009. Además, se hacen los trámites respectivos para la creación de la Sección de Tecnología de la Madera, la cual es aceptada por Junta Directiva que da la aprobación de la misma, en enero de 2010. En septiembre de 2009, por órdenes de la Decantará, se empieza a formalizar la creación de la Unidad de Seguridad Ocupacional Industrial, por lo que se inician las gestiones respectivas ante Junta Directiva.

Todas las secciones que forman parte del CII participan en las actividades de investigación, servicio, docencia y extensión que realiza el Centro como ejecutor de las políticas de la USAC. Para atender la demanda cuenta con personal profesional y técnico en los diferentes campos, para realizar expertajes, asesorías, ensayos de comprobación, control de calidad y otros.

Las secciones del Centro son las siguientes:

- Gestión de la Calidad
- Concretos, Agregados, Aglomerantes y Morteros
- Química y Microbiología Sanitaria
- Metrología Eléctrica
- Química Industrial
- Metales y Productos Manufacturados
- Mecánica de Suelos
- Tecnología de Materiales
- CICON (Centro de Información a la Construcción)
- Estructuras
- Gestión de la Calidad
- Topografía y Catastro
- Tecnología de la Madera
- Unidad de Seguridad Ocupacional Industrial (en formación)

1.2.1. Políticas del CII

Son políticas fundamentales del Centro de Investigaciones de Ingeniería:

- Prestar servicios, preferentemente a las entidades participantes del Centro, y ofrecer los mismos a entidades y personas que, mediante convenios específicos, deseen participar en sus actividades en forma cooperativa o

bien utilizar los elementos del mismo, en relación con sus problemas técnicos específicos.

- Aprovechar los recursos del país y proponer soluciones eficientes a los problemas nacionales.
- Propiciar el acercamiento y colaboración con otras entidades que realizan actividades afines, dentro y fuera de la República de Guatemala.

Para el cumplimiento de esas políticas, el Centro de Investigaciones, como parte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ha establecido relaciones muy fuertes con el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda y con la Municipalidad de Guatemala. Estas tres entidades son a las que van dirigidos preferentemente los servicios.

También se tiene una relación de prestación de servicios con otras instituciones estatales, y municipales del país, comités de comunidades de escasos recursos, organizaciones no gubernamentales (ONG), sector privado de la construcción y otras industrias, así como el público en general que solicite los servicios del Centro.

1.2.2. Objetivos

- Fomentar y contribuir al desarrollo de la investigación científica como un instrumento para la resolución de problemas de los diversos campos de la ingeniería, especialmente los que atañen a la evaluación y mejor utilización de los recursos del país y que están orientados a dar respuestas a los problemas nacionales.
- Prestar sus servicios preferentemente a las entidades participantes del CII y ofrecer los mismos a entidades y personas que mediante convenios

específicos deseen participar en las actividades del Centro en forma cooperativa o bien utilizar sus recursos en la resolución de sus problemas técnicos específicos.

- Colaborar con la formación profesional de ingenieros y técnicos mediante programas de docencia práctica y adiestramiento y la promoción de realización de trabajos de graduación en sus laboratorios y unidades técnicas.

1.2.3. Funciones

- Fomentar y contribuir a la realización de estudios e investigaciones en diferentes áreas de ingeniería, en especial aquellos que atañen a la evaluación y mejor utilización de los recursos del país, y que estén orientados a dar respuestas a los problemas nacionales.
- Realizar programas docentes en áreas de su competencia para colaborar en la formación de profesionales y técnicos y promover la realización de trabajos de graduación en sus laboratorios.
- Colaborar en el adiestramiento de técnicos de laboratorio y en la formación de operarios calificados, especialmente en los campos de la construcción y la ingeniería sanitaria.
- Colaborar con los servicios de extensión universitaria.
- Realizar análisis y ensayos de comprobación de calidad de materiales y productos de diversa índole, en áreas de su competencia.

- Realizar inspecciones, evaluaciones, expertaje y prestar servicios de asesoría y técnica y consultoría en materia de su competencia.
- Actualizar, procesar y divulgar la información técnica y documental en las materias afines, en especial en el campo de la tecnología.

1.2.4. Recursos humanos

Para el correcto funcionamiento del Centro de Investigaciones se cuenta con el siguiente personal que se desarrolla según su capacidad y experiencia en los diversos laboratorios.

Tabla I. Descripción del recurso humano en el CII

CATEGORÍA	USAC	Municipalidad de Guatemala	TOTAL
Profesional	19	2	21
Técnico	23	4	27
Operativo	10	2	12
Administrativo	11	1	12
TOTALES	63	9	72

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, sección de la calidad, *Manual de la calidad*, p.12.

1.2.5. Cuerpo ejecutivo

Para la ejecución de las actividades del Centro, se cuenta con las siguientes secciones:

- Dirección
- Tesorería
- Secretaria
- Recepción
- Bodega

1.2.6. Ubicación

Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, (USAC), final periférico sur, Ciudad Universitaria, zona 12. Edificio T5, tel. (502) 2418-9115, (502) 24189134, Fax (502) 24189121.

1.2.7. Visión

“Desarrollar la investigación científica como el instrumento para la resolución de problemas de diferentes campos de la ingeniería, orientada a la optimización de los recursos del país, y a dar respuesta a los problemas nacionales; impartir docencia de los recursos y laboratorios afines a las Escuelas de la Facultad de Ingeniería; contribuir al desarrollo de la prestación de servicios de ingeniería de alta calidad científico tecnológica para todos los sectores de la sociedad guatemalteca; colaborar en la formación profesional de ingenieros y técnicos; propiciar la comunicación con otras entidades que realizan actividades afines, dentro y fuera de la República de Guatemala, dentro del marco definido por la Universidad de San Carlos de Guatemala. Mantener el liderazgo en todas las

áreas de ingeniería a nivel nacional e internacional y centroamericano, en materia de investigación, análisis y ensayos de control de calidad, expertajes, asesoría técnica y consultoría, formación de recurso humano, procesamiento y divulgación de información técnica y documental, análisis, elaboración y aplicación de normas.”

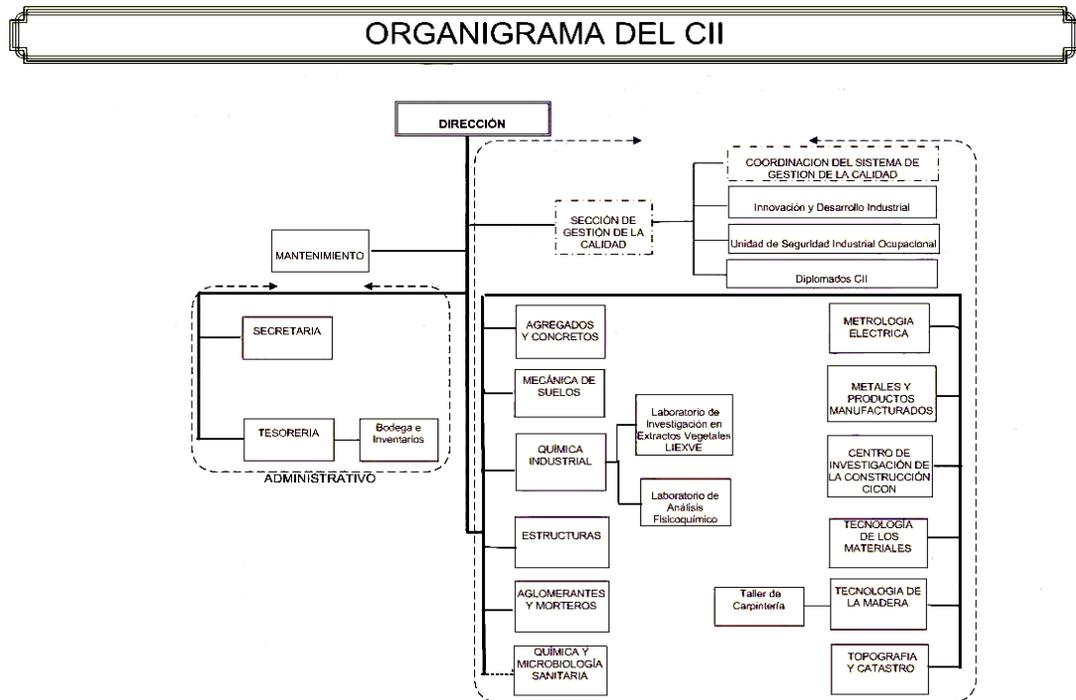
1.2.8. Misión

Investigar alternativas de solución científica y tecnológica, para la resolución de la problemática científico-tecnológica del país en las áreas de ingeniería, que estén orientados a dar respuesta a los problemas nacionales; diseñar estructuras y productos terminados de diferente índole; impartir cursos y laboratorios afines a las escuelas de la Facultad de Ingeniería, desarrollar programas de formación profesional, formar técnicos de laboratorio y operarios calificados; realizar inspecciones, evaluaciones, expertajes y prestar servicios de asesoría técnica y consultoría en áreas de la ingeniería relacionadas; actualizar, procesar y divulgar información técnica y documental en las materias con la ingeniería.

1.2.9. Organigrama general

El organigrama general del CII muestra la estructura organizacional, en las diferentes secciones que lo componen, no integrando todavía las secciones nuevas y la que se encuentran en proceso. Ver figura 1.

Figura 1. Organigrama del CII



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, sección de la calidad. *Manual de la calidad*, p.15.

1.3. Sección de Tecnología de la Madera

La sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos se creó con el objetivo de brindar servicio a la industria, desarrollando proyectos de investigación en tecnología y procesos de la madera, así como dar apoyo a la Facultad de Ingeniería en la preparación y capacitación de los estudiantes de las diferentes carreras para la realización de proyectos relacionados con prácticas, EPS y trabajos de graduación. Siendo su función específica la realización de investigación sobre usos diversos de las distintas especies forestales que existen en el país y el mejor aprovechamiento de los subproductos, cuidando siempre el medio ambiente y la creación de nuevas fuentes de trabajo para la sociedad, teniendo en cuenta la

promoción de proyectos que puedan trabajarse con entidades públicas y privadas, en donde se incluyan líneas de investigación relacionadas con la madera y sus sub – productos.

Esta sección está integrada por un equipo multidisciplinario de profesionales y estudiantes, los cuales planifican y ejecutan los proyectos y actividades realizadas a diario en dicha sección. Se realizan pruebas mecánicas, análisis fisicoquímicos, pruebas anatómicas para la caracterización de las distintas especies forestales, y así establecer parámetros de calidad pudiendo de esta manera dar asesorías con respecto al tema.

1.4. Antecedentes de la sección de Tecnología de la Madera

Inició como un proyecto para ser parte de el Centro de Investigaciones de Ingeniería en donde se realizaron algunos proyectos basados en madera, los cuales dieron la pauta para la creación de la sección por la necesidad de investigar, desarrollar, analizar, generar datos y documentar sobre el tema tan amplio como la madera. Aprovechando todas estas necesidades de información se creó la sección de Tecnología de la Madera. Algunos de los proyectos realizados referentes a la madera fueron los indicadores para la creación de la sección, siendo la madera y sus derivados una materia prima tan diversificada que nos permite generar muchas ideas y temas para investigar, pudiendo dar muchas aplicaciones y valores agregados que se pueden generar y que no han sido tema de investigación en esta casa de estudios.

2. EVALUACIÓN, ESTUDIO Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE SECADO DE MADERA Y RETENCIÓN DE CALOR

2.1. Antecedentes generales de hornos secadores de madera en Guatemala

La velocidad de transferencia de calor por medio de la conducción de temperatura ha demostrado que el secado siempre se ha realizado al aire libre, apilando de diferentes formas la madera, con el objetivo de que el aire arrastre la humedad en la superficie de cada una de las piezas, sin el auxilio de un equipo que permita acelerar el flujo del aire para acelerar este proceso.

Apilar la madera al aire libre, siempre y cuando el clima sea adecuado y constante para obtener madera seca, es un procedimiento que requiere de mucho tiempo y por ende, la disponibilidad de las piezas de madera para ser utilizadas no es inmediata, lo que genera un incremento en los costos de operación. Un método, también de gran tradición para el secado de madera, han sido los hornos a base de leña aprovechando de esta manera los sub productos de los árboles, dichos hornos se han ido tecnificando con el transcurso de los años, ahora con el alcance tan fácil de la tecnología es común encontrar lugares en donde se trabaja con hornos los cuales son alimentados por calderas, para las cuales utilizan cualquier tipo de carburante para su funcionamiento.

En Guatemala, el Instituto Centro Americano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), desarrolló excelentes prototipos de secadores solares, que inexplicablemente no han tenido la difusión y aceptación que esta tecnología merece.

Lo más utilizado como secador solar consiste en usar una estructura liviana que puede ser de madera o de varillas de acero, con forma de una bóveda semicircular que está forrada con plástico negro o transparente.

2.2. Conceptos fundamentales de secado

La madera es un material ortotrópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. La madera es transformada y utilizada por diferentes empresas con fines estructurales, ya que es un material muy resistente, y gracias a esta característica y a su abundancia natural es empleada ampliamente por los humanos, desde tiempos muy remotos.

Una vez cortada y secada, la madera se utiliza para muchas y diferentes aplicaciones. Artistas y carpinteros tallan y unen trozos de madera con herramientas especiales, para fines prácticos o artísticos. La madera es también, un material de construcción.

En la actualidad, y desde principios de la revolución industrial, muchos de los usos de la madera han sido reemplazados por metales o plásticos; sin embargo, es un material apreciado por su belleza, y porque puede reunir características que difícilmente se conjuntan en materiales artificiales.

El secado de la madera se ha convertido en un proceso vital para el desarrollo del sector maderero y del mueble de cualquier país, de hecho, la mejora continua es un tema obligado si se quiere competir nacional o internacionalmente con buenos productos. La industria, en este campo, enfrenta dos retos importantes a resolver: la gran cantidad de tiempo y energía que consume el proceso de secado, y la ineficiencia en el proceso, relacionado con la condición de humedad de la madera y sus anomalías por humedad, que lleva consumos energéticos altos en procesos de remanufactura y pérdidas de materia prima.

Así el secado, proceso que está diseñado para extraer la humedad de la madera, da un producto estable dimensionalmente y competitivo en el mercado, teniendo en cuenta que éste es un paso más supervisado por el control de calidad.

Aunque muchos usuarios de la madera hablan de la pudrición seca, el término es engañoso puesto que la madera debe contener agua para que ocurran los ataques biológicos. El contenido de agua en la madera es un factor determinante e importante de los tipos de organismos presentes que la degradan.

Generalmente, la madera bajo el punto de saturación de la fibra no se daña, aunque algunos hongos e insectos específicos pueden atacar en niveles de humedad mucho más bajos.

La humedad en la madera responde a varios propósitos en el proceso de la pudrición. Hongos e insectos requieren de muchos procesos metabólicos. Los hongos, también proporcionan un medio de difusión para que las enzimas degraden su estructura. Cuando el agua entra en la madera, la microestructura se hincha hasta alcanzar el punto de saturación de la fibra (sobre un 30% del contenido de humedad en la madera). En este punto, cuando el agua está libre en las cavidades de las células de la madera, el hongo puede comenzar a degradarla. La hinchazón asociada con el agua se cree que hace a la celulosa más accesible a las enzimas de los hongos, aumentando la velocidad de pudrición de la madera. Además, la repetida adherencia del agua, la sequedad o la continua exposición con la humedad pueden dar a lugar a una lixiviación de los extractos tóxicos y de algunos preservantes de la madera, reduciendo la resistencia al daño.

2.3. Proceso para secado de la madera

El secado de la madera es parte del proceso de transformación de la materia prima (árboles) en productos terminados (tablones, tablillas, vigas, muebles, entre otros). La madera recién cortada contiene un alto porcentaje de humedad. Las paredes de las células se encuentran saturadas y liberan el agua retenida en las cavidades de la célula. Este proceso está en virtud de eliminar el agua libre y una gran proporción del agua es absorbida por las paredes de las células. Lo que se realiza utilizando algún método, ya sea por medio natural o utilizando alguna técnica con equipo específico.

Conforme se seca la madera el agua abandona las cavidades de la célula hasta liberarse del exceso de agua en sus paredes, esto es cuando comienza la contracción. La pérdida de agua se detiene al alcanzar el equilibrio con la humedad relativa del entorno. A esto se le denomina equilibrio higroscópico.

2.4. Tipos de secado de madera

Existen diversas formas de secar o deshidratar la madera. A continuación se mencionarán los tipos de secado más comunes.

2.4.1. Secado al aire libre

El sistema tradicional para el secado de la madera es el aire libre, en él se apilan las tablas de madera sobre listones, apilados con separaciones hasta de 45 cm. Normalmente estas pilas de madera se ubican separadas del piso y en lugares resguardados de la lluvia y del sol. El paso del aire a través de las pilas las va secando progresivamente.

2.4.2. Secado artificial

La madera que va a ser utilizada en interiores necesita un contenido máximo de humedad entre el 8% y el 10%, o menor, dependiendo del lugar y la ubicación final. Este proceso se toma como adicional al secado natural y tan sólo demora unos días. Las piezas de madera se apilan y se introducen en unos hornos por los cuales circula una mezcla muy precisa de vapor y aire caliente. La madera secada por debajo del nivel de humedad del ambiente, intentará recuperarla hasta lograrlo, si se deja expuesta mucho tiempo al aire libre, el equilibrio higroscópico aparecerá.

Los hornos utilizados en el secado artificial llegan a calentarse hasta 80 °C durante seis días, lo que da la ventaja importante de reducir tiempos en la línea de producción del bien que se esté realizando, por el corto tiempo en conseguir el secado deseado. Tiene en cambio, el inconveniente de que la madera tiende a agrietarse si no se controla periódicamente.

2.4.3. Secado mixto

En el proceso mixto, intervienen ambos métodos de secado; una vez que por secado natural se ha llegado a reducir el grado de humedad contenida en la madera, entonces se procede a secarla artificialmente, para darle el grado necesario.

2.5. Cantidad de energía necesaria para secar madera

Es necesaria la aplicación de algún tipo de energía calórica para evaporar el agua de la madera, y estos requerimientos van en aumento conforme progresa el secado, con el fin de liberar el agua de las grandes fuerzas higroscópicas con las cuales es retenida en la madera.

2.5.1. Cantidad de energía aportada por el sol, radiación

La energía puede obtenerse de muchas fuentes, pudiendo ser la más importante de las fuentes el Sol. La energía radiante del Sol en sus manifestaciones de luz y calor, mantiene la vida en la Tierra, provoca los vientos, la formación de nubes y la caída de lluvia. Industrialmente esta energía no ha sido todavía explotada en forma intensiva.

El Sol es una enorme central de energía. Inunda la Tierra continuamente tanto de calor como de luz. Aproximadamente, el 99% de la energía de la Tierra procede directamente de él. Las plantas verdes son seres vivos que no podrían existir sin el Sol. Usan la energía luminosa para crear alimentos (o energía química), que se almacena en sus tejidos. Las plantas usan esta energía para crecer y reproducirse, los animales no pueden obtener energía directamente del sol, dependen de las plantas que comen, en las que se almacena la energía química.

La intensidad de la energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día, del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol, se llama constante solar, y su valor medio es de unas 2 cal/min/cm². En concreto, la radiación solar interceptada por la Tierra en su desplazamiento alrededor del Sol, constituye la principal fuente de energía renovable al alcance de todos. La Tierra recibe del Sol una inmensa cantidad de energía anual de $5,4 \times 10^{24}$ J, (4500 veces el consumo mundial de energía.) El aprovechamiento de la energía solar está condicionada por tres aspectos: la intensidad de la radiación solar recibida por la Tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas

de cada emplazamiento. La radiación solar es una forma de energía de baja concentración, fuera de la atmósfera, la intensidad de radiación oscila entre 1300 y 1400 W/m². Las pérdidas en la atmósfera por absorción, reflexión y dispersión la reducen un 30%. Si las condiciones climatológicas son buenas se puede llegar a tener 1000 W/m², aunque, si las condiciones son pésimas se tendría sólo 50 W/m², por lo tanto, se está obligado a utilizar superficies de captación grandes.

2.6. Elementos idóneos para almacenamiento de calor

La energía solar es intermitente por naturaleza, debido a los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, y también, debido a las condiciones meteorológicas de cada lugar (nubes). Además, es una fuente de energía dependiente del tiempo y en muchas ocasiones no coincide la necesidad con la disponibilidad. Generalmente, la energía se requiere más, precisamente cuando no hay radiación solar (noche).

Esto hace necesario que prácticamente todos los procesos de conversión fototérmica requieran de un sistema de almacenamiento de energía, para poder satisfacer las demandas de energía en el momento que sean requeridas. En ocasiones, ni contando con sistemas de almacenamiento se pueden satisfacer todas las demandas, por lo que se hace necesario considerar, además una fuente auxiliar de energía.

Generalmente, el medio de almacenamiento es agua, si por el colector se hace circular un líquido. De forma análoga, si en el colector circula aire, el medio de almacenamiento serán rocas o piedras. Las temperaturas alcanzadas en este tipo de sistemas oscila entre los 50 y 100 °C. En este caso, el almacenamiento de energía se puede dar por cualquiera de los mecanismos antes mencionados (calor sensible, cambio de fase, reacciones químicas y estanques solares).

Una regla de tipo práctico para determinar si un material es apropiado a utilizarse como medio de almacenamiento, es que debe ser capaz de almacenar entre 300 y 600 kJ/°C-m² de área de colector, como mínimo. También, es de conocimiento general, que cuanto mayor sea la temperatura que pueda alcanzar el medio de almacenamiento, menor será el tamaño del sistema, aunque las pérdidas se hacen más evidentes.

Si 1000 litros de agua pueden almacenar, aproximadamente 84 MJ de energía, cuando su temperatura aumenta de 30 a 50 °C y 168 MJ si la temperatura varía de 30 a 70 °C. Se requieren aproximadamente 2,5 m³ de rocas para almacenar la misma cantidad de energía con los mismos incrementos de temperatura.

2. 7. La piedra como elemento de almacenaje de calor

Las rocas o piedras también son un buen medio de almacenamiento. En sistemas activos, generalmente se usa lechos de piedra bajo tierra o lechos empaquetados, teniendo como referencia que el aire es el fluido de trabajo que remueve o adiciona el calor de la unidad de almacenamiento. En este caso, el calor por lo general, no puede ser adicionado y removido al mismo tiempo.

Aunque las rocas o piedras no tienen un calor específico alto, son buenos como medio de almacenamiento debido a que tienen una gran densidad, son de bajo costo, tienen conductividad térmica baja y no tienen problemas de corrosión.

2. 8. Cantidad de calor que pueden absorber las piedras

En la tabla II se puede observar que los materiales comunes poseen una gran capacidad calorífica, teniendo como elementos principales para su estudio, las piedras.

Tabla II. Descripción de diferentes elementos – calor específico

Material	Calor específico	Densidad	Capacidad calorífica
	kcal/kg °C	kg/m ³	kcal/m ³ °C
Agua	1	1000	1000
Acero	0,12	7850	950
Tierra seca	0,44	1500	660
Granito	0,19	2645	529
Madera de roble	0,57	750	430
Ladrillo	0,20	2000	400
Madera de pino	0,6	640	384
Piedra arenisca	0,17	2200	374
Piedra caliza	0,22	2847	484
Hormigón	0,16	2300	350
Mortero de yeso	0,2	1440	288
Poliestireno expandido	0,4	25	10
Poliuretano expandido	0,38	24	9
Fibra de vidrio	0,19	15	2,8
Aire	0,24	1,2	0,29

Fuente: RESNIK HALLIDAY, Krane. *Física*. p.32.

Entre los elementos con mayor absorción calorífica se encuentran el agua, el suelo seco compactado (adobe, tapia), piedras densas como el granito y acero, encontrándose en un rango de entre 500 y 1000 kcal/m³ °C.

Luego se encuentra el grupo que va de 300 a 500 kcal/m³ °C en los que se ubican la mayoría de los materiales usuales en la construcción actual, como: el ladrillo, hormigón, maderas, tableros de yeso roca y las piedras areniscas.

En un último grupo se encuentra (3 a 35 kcal/m³ °C), los aislantes térmicos de masa como la lana de vidrio, las lanas minerales, el poliestireno expandido y el poliuretano expandido que por su baja densidad" debido a que contienen mucho

aire poseen una capacidad calorífica muy baja pero sirven como aislantes térmicos.

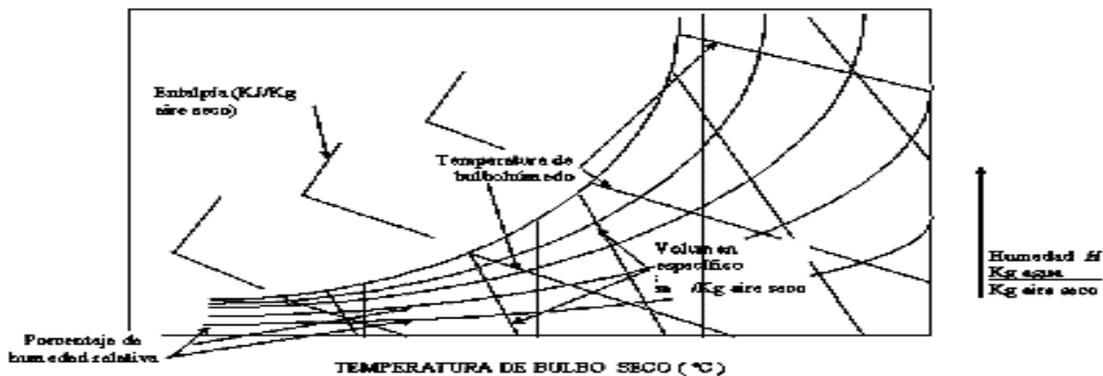
Un caso especial es el aire (0,29 kcal/m³·K; 1,214 J/m³·K), que sirve como un medio para transportar el calor en los sistemas pasivos pero no para almacenar calor en su interior.

2.9. Psicometría del secado

En la mayoría de los equipos de secado, el producto a secar está en contacto con una mezcla de aire - vapor de agua (aire con algún grado de humedad). Si un alimento sólido húmedo se pone en contacto con aire de temperatura y humedad constantes, como cuando se usa aire en exceso, después de un tiempo suficiente el sólido alcanzará una humedad de equilibrio que depende de la humedad y temperatura del aire con el que estuvo en contacto.

En la figura 2 aparecen esquematizadas las líneas más importantes que permiten la lectura de las mezclas aire-vapor de agua, para su estudio.

Figura 2. Diagrama carta psicometría Aire – Vapor de Agua



Fuente: Dirección Nacional de Servicios Académicos, Universidad Nacional de Colombia, *Proceso de alimentos*. p.10.

2.10. Metodología

Diseñar un horno secador de madera adaptándolo a los medios propuestos para satisfacer las necesidades que exige la Sección de Tecnología de la Madera, teniendo en cuenta que existe mucha tecnología diferente, para lo cual se debe auxiliar de todas las ciencias que tengan alguna relación con la propuesta. Las tecnologías a utilizar tienen la finalidad de proteger el medio ambiente y demostrar que la creciente necesidad de minimizar costos provoca un agotamiento o degradación de los recursos naturales y energéticos del país, ya que para generar energía se utilizan muchos recursos renovables pero no con el adecuado control para renovarlos, siendo el sol una fuente de energía renovable que no tiene límite para su uso.

Se desglosarán los elementos necesarios para el diseño del horno secador de madera, dando prioridad a las necesidades que tenga la Sección de Tecnología de la Madera, indicando claramente las condiciones técnicas para el uso del diseño propuesto, y la forma adecuada de las dimensiones, ubicación, análisis técnicos, análisis científicos y componentes a utilizar en el horno secador. incluyendo los análisis financieros para dejar explícitamente los probables costos para echar a andar el horno secador de madera propuesto.

2.11. Técnicas

Según datos obtenidos de algunos hornos secadores existentes y los datos técnicos que han brindado algunos profesionales especialistas en el tema, así como información obtenida durante algunas visitas realizadas a empresas que utilizan técnicas parecidas para el secado de madera, se busca integrar todos los elementos necesarios para su elaboración, y así demostrar con el análisis financiero el costo probable del proyecto.

2.12. Ubicación del secador en la línea de producción

Siguiendo las normas para una eficiente línea de producción en la fabricación de cualquier producto, se toma en cuenta la buena ubicación de los puestos de trabajo para un desarrollo ordenado. En este caso el horno secador de madera ingresa a la línea de producción como el último proceso a realizar, desde el corte de la madera hasta el producto terminado, si el proceso es sólo aserrar o cuadrar la madera, o bien ingresaría a la línea de producción como el primer paso después de haber realizado algún proceso de manufactura siendo esto un valor agregado a la madera, es importante destacar que en las líneas de producción se deberá llevar un orden sucesivo de eventos para la elaboración de cualquier producto, pero pueden agregarse o eliminarse algunos procesos según sea el producto a realizar o el acabado que se desee, buscando siempre la mayor calidad y eficiencia posible.

2.13. Densidad de la madera húmeda

La densidad de la madera húmeda depende de su contenido de agua. Se puede hablar de una densidad absoluta y de una aparente. La densidad absoluta está determinada por la celulosa y sus derivados. Su valor oscila alrededor de 1550 kg/m^3 y apenas varía de unas maderas a otras. La densidad aparente está determinada por los poros que tiene la madera, ya que dependiendo de si están más o menos carentes de agua crece o disminuye la densidad. Depende entonces del grado de humedad, de la época de apeo, de la zona vegetal, etc. La madera es un material blando cuya dureza es proporcional al cuadrado de la densidad, decayendo en proporción inversa con el grado de humedad. Ambas densidades unidas dan la densidad real de la madera. La madera seca contiene células diminutas de burbujas de aire, por lo que se comporta como aislante calorífico.

La densidad de la madera húmeda se encuentra utilizando la siguiente ecuación:

$$P_h = P_m (1 + h)$$

Donde:

P_h = densidad de la madera con humedad (h) en % (Kg.m^{-3})

P_m = densidad de la madera seca (Kg.m^{-3})

h = fracción de humedad de la madera (adimensional)

2.14. Cantidad de agua removida por metro cúbico de madera

Con la siguiente fórmula se puede obtener la cantidad de agua removida a piezas de madera con respecto a cada metro cúbico.

$$M_w = P_{h,0} - P_{h,f}$$

M_w = masa de agua removida por metro cúbico de madera (Kg agua/m^3)

$P_{h,0}$ = densidad inicial de madera (Kg.m^{-3})

$P_{h,f}$ = densidad final de madera (Kg.m^{-3})

2.15. Calor específico de la madera húmeda

Calor específico es la cantidad de energía necesaria para aumentar en $1\text{ }^\circ\text{C}$ la temperatura de 1 kg de material. Indica la mayor o menor dificultad que presenta una sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el

suministro de calor. Los materiales que presenten un elevado calor específico serán buenos aislantes.

Sus unidades del Sistema Internacional son $J/(kg \cdot ^\circ K)$, aunque también se suele presentar como $kcal/(kg \cdot ^\circ C)$; siendo $1 \text{ cal} = 4184 \text{ J}$. Por otra parte, el producto de la densidad de un material por su calor específico ($\rho \cdot C$) caracteriza la inercia térmica de esa sustancia, siendo ésta, la capacidad de almacenamiento de energía.

En la tabla III se establecen valores de algunos materiales, indicando el valor de su capacidad calorífica, teniendo como prioridad el de la madera.

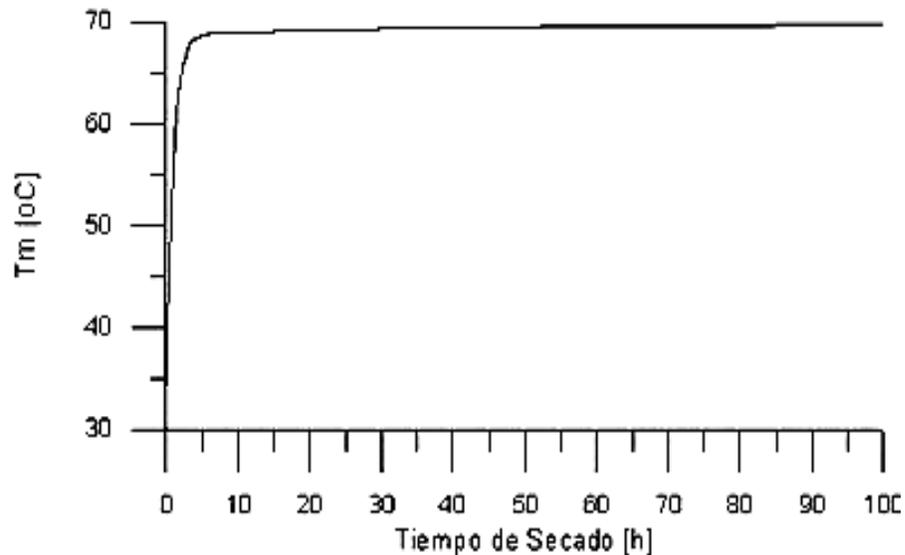
Tabla III. **Capacidad de almacenamiento de energía**

Sustancia	Estado de agregación	c_p $J \cdot g^{-1} \cdot ^\circ K$
Asfalto	Sólido	0,92
Ladrillo	Sólido	0,84
Hormigón	Sólido	0,88
Granito	Sólido	0,790
Mármol,	Sólido	0,880
Arena	Sólido	0,835
Suelo	Sólido	0,80
Madera	Sólido	0,48

Fuente: YAÑEZ, Guillermo . Energía solar, edificación y clima. Tomo 1. p.15.

En la figura 3 se indica la temperatura de la madera en °C, con respecto al tiempo de secado en horas.

Figura 3. **Cantidad de calor en la madera – Tiempo de secado**



Fuente: Maderas, Cienc, tecnol. V.3 n 1-2 Concepción. p.35.

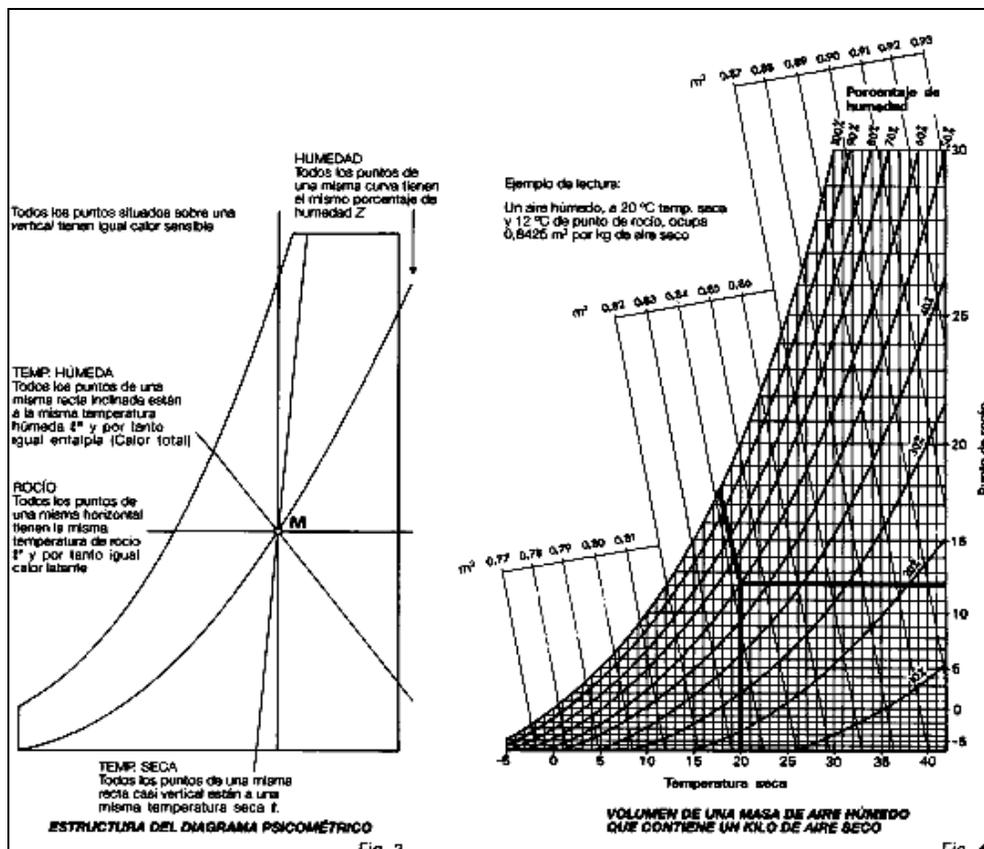
2.16. Entalpía y humedad del aire

Ésta se define como una magnitud termodinámica, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, lo que indica la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno. El bulbo seco y húmedo se utilizan para determinar la humedad relativa y del comportamiento de mezclas de aire. Se logra una función de estado de la termodinámica cuando la variación permite expresar la cantidad de calor puesto en juego durante una transformación isobárica (es decir, a presión constante) en un sistema termodinámico (teniendo en cuenta que todo objeto conocido puede ser entendido como un sistema termodinámico), transformación en el curso de la cual se puede recibir o aportar energía, por ejemplo: la utilizada por un trabajo mecánico.

En este sentido la entalpia es numéricamente igual al calor intercambiado por el ambiente exterior con el sistema en cuestión. Se utiliza un diagrama psicrométrico de aire – agua en donde se encuentran los datos del bulbo seco y la humedad relativa para encontrar la entalpia y humedad absoluta.

En la figura 4 se indica el punto en que se encuentra la temperatura seca y la humedad relativa punto inicial. En donde se puede extrapolar un punto hasta dónde puede llegar como límite, teóricamente, por una serie de rectas que dan el volumen de aire seco. Lo que sirve para analizar la cantidad de agua que se debe aportar al sistema. La cual se indica con el diagrama psicrométrico.

Figura 4. Diagrama de temperatura - humedad



Fuente: OCON, J; TOJO, G. *Problemas de ingeniería química*. p.14.

2.17. Tiempo de secado neto

Tiempo total utilizado para el secado.

$$t = \frac{Q_t}{ww R * A}$$

Donde:

t: tiempo de secado (h)

ww R: tasa de radiación solar mundial (KJ.m⁻².h⁻¹)

A: área de exposición en (m²)

2.18. Tiempo de secado real

Tiempo utilizado diariamente para el secado.

$$\emptyset = \frac{t}{Ts}$$

Donde:

\emptyset : tiempo real de secado (día)

Ts: número de horas sol por día (h/día)

t: tiempo total de horas

3. UBICACIÓN ESPECÍFICA EN LA SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA, EN EL ÁREA DE PREFABRICADOS, USAC

3.1. Ubicación en campus central de la USAC

Sección de Tecnología de la Madera ubicada en el área de Tecnología de Materiales (prefabricados), del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (14°35'04.78" N, 90°33'24.19" O). Ver planos en anexos.

3.2. Área propuesta para el secador de madera

El área propuesta para implementar el horno secador de madera en la Sección de Tecnología de la Madera, del área de Prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería se plasma en una serie de planos que indican el lugar exacto en la línea de producción de la carpintería, indicando también las especificaciones físicas. Ver planos en anexos

3.2.1. Condiciones idóneas en el área propuesta

Las condiciones necesarias para lograr un eficiente funcionamiento del horno en el área propuesta están sujetas a la necesidad primordial de la luz solar, ya que es la principal fuente para el funcionamiento, teniendo presente que se colocará en el área en donde obtenga la mayor cantidad de sol, en un lugar sin humedad y acoplada de manera adecuada a la línea de producción de la carpintería ya existente en la sección de Tecnología de la Madera.

3.2.2. Ubicación para mayor cantidad de recepción solar posible

Según las observaciones realizadas en el área en donde se colocarán los paneles solares se estableció que para percibir la mayor cantidad de sol durante el día, no importando la fecha del año, los paneles deben estar orientados de sur-orientado a 14° norte. - occidente.

3.3. Preparación del suelo para ubicación del horno y contenedor

Para cualquier construcción que implique la utilización de columnas y cimientos, se debe cumplir con la respectiva compactación, tomando en cuenta que el suelo en donde se propone construir el horno e instalar el contenedor que almacenará el calor y los paneles solares, soportarán cargas normales dentro de los estándares de construcciones menores.

3.4. Área propuesta para el contenedor de piedras

El área propuesta para el contenedor relleno de piedras que almacenará el calor a utilizar para el secado de la madera, está contigua al horno a construir, teniendo en cuenta que debe existir un vínculo por medio de conductos para el traslado del calor del contenedor al horno, asimismo la menor cantidad de pérdida de calor posible, para hacer mas efectivo el uso del calor.

4. FUNCIONAMIENTO, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, Y TÉCNICAS, DE EQUIPO Y ACCESORIOS DEL SECADOR SOLAR

4.1. Funcionamiento paneles solares

Los captadores o colectores solares funcionan aprovechando el efecto invernadero, que es el mismo principio que se puede experimentar al entrar en un vehículo estacionado bajo el sol en verano. El vidrio actúa como filtro para ciertas longitudes de onda de la luz solar, dejando pasar, fundamentalmente, la luz visible, y es menos transparente con las ondas infrarrojas de menor energía.

El Sol incide sobre el vidrio del colector, que siendo muy transparente a la longitud de onda de la radiación visible, deja pasar la mayor parte de la energía. Ésta calienta entonces la placa colectora que, a su vez, se convierte en emisora de radiación en onda larga o infrarrojos menos energética. Pero, como el vidrio es muy opaco para esas longitudes de onda, a pesar de las pérdidas por transmisión, (el vidrio es un mal aislante térmico), el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior.

Al paso por la caja, el fluido caloportador que circula por los conductos se calienta, y transporta esa energía térmica a donde se desee.

El rendimiento de los colectores mejora cuanto menor sea la temperatura de trabajo, puesto que a mayor temperatura dentro de la caja (en relación con la exterior), mayores serán las pérdidas por transmisión en el vidrio. También, a mayor temperatura de la placa captadora, más energética será su radiación, y

más transparencia tendrá el vidrio a ella, disminuyendo por tanto, la eficiencia del colector.

4.2. Funcionamiento general

El funcionamiento en general del horno de secado de madera es relativamente sencillo, los paneles solares al haber obtenido la suficiente luz del sol y haberla transformado en calor y trasladado a las piedras de río colocadas dentro del contenedor, el cual mantendrá el calor relativo, se procede a la colocación de la madera dentro del horno en sus respectivos bastidores, cerrando la puerta herméticamente, luego de colocar la madera en el horno se procede a encender los motores que empujarán el calor ya almacenado en las piedras dentro del contenedor por los conductos construidos entre el contenedor y el horno, y conforme las pruebas realizadas se dejará circular el calor homogéneamente por el horno hasta lograr el nivel de humedad requerido. Teniendo en cuenta que para cada tipo de madera serán diferentes los tiempos a esperar para el nivel de humedad requerido. Y al final se apagan los motores que trasladan el calor y se procede a realizar pruebas para establecer si la madera alcanzó los resultados deseados o si es necesario más tiempo dentro del horno.

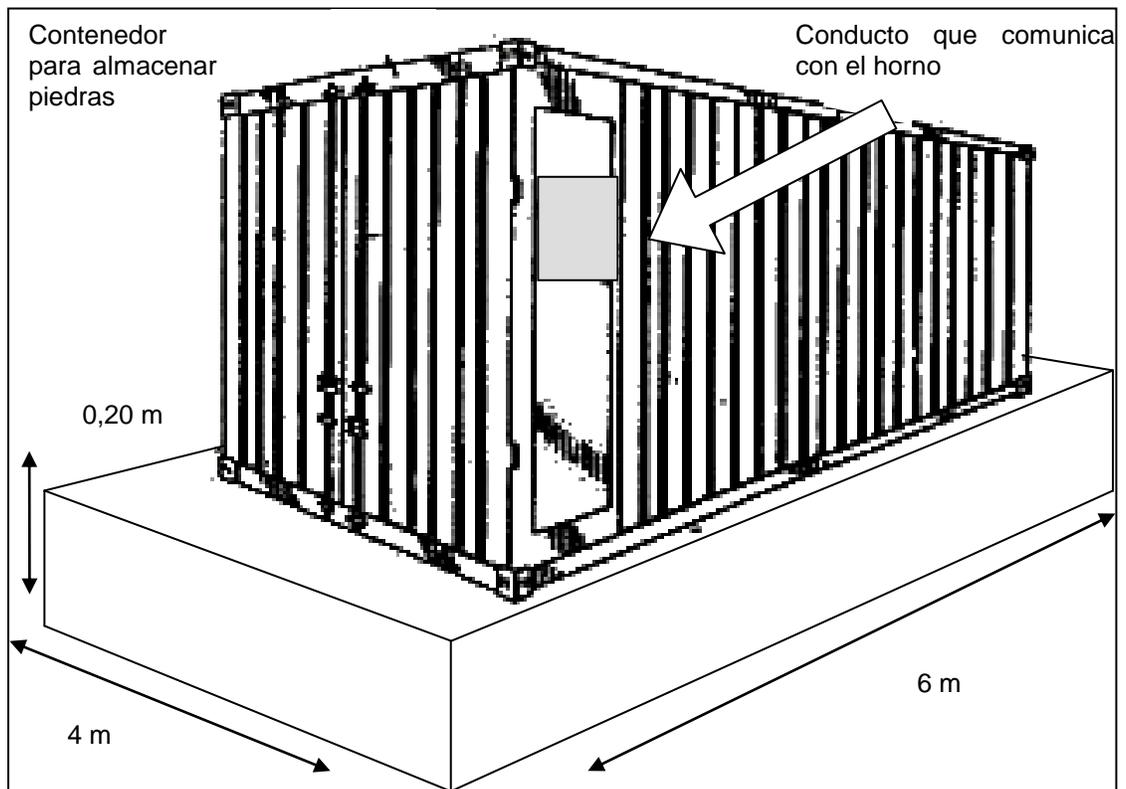
4.3. Características físicas del horno

El horno es una construcción de hormigón, con columnas de hierro y losa de concreto de 3 mts X 4 mts X 2,5 mts, con una puerta corrediza de 3,5 mts de ancho y 2,5 mts de alto, con su respectivo aislante par evitar la pérdida de calor colocado interiormente, incluye sus bastidores interiores para la colocación de la madera.

4.4. Estructura y cimentaciones del contenedor de piedras

Una plataforma de concreto es la base principal para colocar el contenedor que es un contenedor común y corriente, éste debe estar a una mayor altura que el horno para la distribución del calor con más facilidad, teniendo en cuenta la colocación de los paneles sobre él.

Figura 5. Estructura física de contenedor de calor



Fuente: elaboración propia.

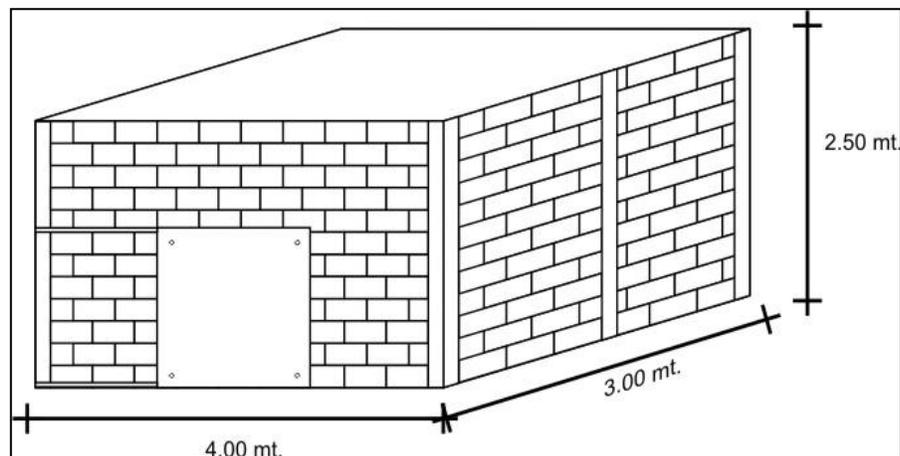
4.5. Estructuras que relacionan el horno y el contenedor

Las estructuras y conductos entre el horno y el contenedor que almacena el calor por medio de piedras o rocas son específicamente conductos metálicos para el traslado del calor. Estas estructuras laminadas o cajuelas, al encender el motor ventilador colocado en el contenedor distribuyen el calor desde el contenedor hasta el horno, con la mayor homogeneidad posible.

4.6. Estructuras y cimentaciones del horno

La estructura y cimentaciones del horno son como las de cualquier construcción simple con 3 columnas de concreto reforzadas con hierro de $\frac{1}{4}$ en cada lado, con loza en la parte superior y una fundición de cemento en el suelo, y estructura de hormigón. Con un revestimiento tipo cernido de ambos lados. Teniendo en cuenta que el área de ingreso del aire caliente será por la parte trasera en donde se encontrará la conexión con el contenedor. Ver anexo.

Figura 6. Estructura física del horno



Fuente: elaboración propia.

4.7. Volumen interno de secado

El horno exteriormente tiene un volumen de 30 m^3 , pero por cuestiones de las estructuras, el espacio entre bastidores, y la madera, se reduce dejando un volumen de secado neto, si se llenaran los bastidores por completo con madera, de 18 m^3 .

4.8. Volumen de la madera a secar

El volumen de la madera a secar variará según la cantidad de tablas, tablillas, regletas, vigas, costaneras o cualquiera que sea la presentación de la madera, siendo la máxima cantidad que puede contener el horno 18 m^3 .

4.9. Descripción de materiales a utilizar para construir el horno

- Block de 15 X 20 X 40 cm
- Sacos de grava
- Sacos de monocapa blanco
- Hierro varillas 3/8" y 1/4"
- Alambre de amarre
- Tablones para fundición
- Clavos
- Tubería 1/4"
- Cables calibre 12
- Angulares 1/8" X 2" X 2"
- Tubos de 2" X 2" chapa 16
- Suministros para instalación eléctrica

4.10. Descripción de elementos extras del horno y del contenedor

El sistema constará de los siguientes elementos:

- Serie de conductos laminados de 1/8" que conectarán el contenedor de piedras en donde se almacena el calor con el horno.
- Motor ventilador de 3/4 Hp que dirigirá el calor del contenedor al horno.
- Sistemas de control eléctrico para accionar el encendido y apagado del motor ventilador.
- Una llave de paso para el calor, por si es necesario el corte de suministro del calor emergente.
- Accesorios con los que cuente el calentador solar.
- Puerta corrediza con chapa industrial y sellada a presión.
- Lector de temperatura interna.
- Clavijeros correspondientes a diferentes tamaños de tablas a secar.
- Estructura metálica para colocar piedras dentro del contenedor.
- Una camionada de piedras de río 6 m³.
- Estructura metálica en la que se colocarán los paneles solares sobre el mismo horno o contenedor.

5. MEDIO AMBIENTE

5.1. Niveles de contaminación provocados por los hornos a base de carburantes

Los niveles de contaminación se pueden medir mediante aparatos manuales o automáticos, con los cuales se obtienen muestras que tendrán que ser después analizadas en un laboratorio especializado. El tipo de muestra y el tipo de análisis llevado a cabo en el laboratorio depende del contaminante que se quiera medir. Así pues, los niveles de inmisión o de concentración en el aire de los contaminantes no se obtienen en tiempo real, se conocen en un plazo de tiempo posterior respecto al día en que se ha tomado la muestra cuando se realizan con aparatos manuales, mientras que los automáticos realizan los análisis ellos mismos y dan los resultados en tiempo real.

La combustión de carbón, petróleo y gasolina es el origen de buena parte de los contaminantes atmosféricos. Más de un 80% del dióxido de azufre, un 50% de los óxidos de nitrógeno, y de un 30 a un 40% de las partículas en suspensión emitidos a la atmósfera proceden de las centrales eléctricas que queman combustibles fósiles, las calderas industriales y las calefacciones. Un 80% del monóxido de carbono y un 40% de los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos emitidos proceden de la combustión de la gasolina y el gasóleo en los motores de los vehículos y camiones, y equipos que trabajan con este tipo de carburantes.

La ciudad de Guatemala rebasa los niveles de contaminación establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo que afecta gravemente la salud de las personas, primordialmente el aparato respiratorio.

De acuerdo con reportes de diarios nacionales, la Facultad de Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), presentó recientemente un estudio sobre la calidad del aire, en el que se afirma que la atmósfera guatemalteca está contaminada por encima de los estándares permisibles.

El 65 % de la contaminación es provocada por las emisiones de los automotores, el 30 % por la industria y el 5 % restante, por la quema de basura; el lugar más contaminado en la ciudad es El Trébol, revela el análisis.

5.2. Beneficios para el medio ambiente al no utilizar carburantes cambiándolos por paneles solares

Los beneficios ambientales por usar paneles solares son inmensos, con ellos es posible darle energía eléctrica u otras aplicaciones a una ciudad completa, aprovechando una energía que se encuentra siempre disponible. Normalmente, para producir esta energía eléctrica se utilizan métodos que destruyen muchísimo el medio ambiente, por ejemplo: una hidroeléctrica genera la energía eléctrica con la fuerza del agua cuando pasa por unas turbinas que convierten este movimiento en electricidad, pero para que el agua baje con la fuerza suficiente es necesario crear gigantescas represas que alteran el curso de los ríos, matando a miles de animales que dependen de éstos para sobrevivir.

Otro ejemplo importante son las termoeléctricas, que generan la electricidad mediante vapor, y para obtenerlo es necesario calentar grandes cantidades de agua que luego se pierden y para calentar se necesita carbón o algún otro combustible fósil que será irremediablemente contaminante de la atmósfera. Los paneles solares no tienen ninguno de los problemas descritos con anterioridad, no necesitan de una energía previa generada por el hombre para funcionar, si no que aprovechan una fuente de energía ya disponible.

Actualmente, el costo de instalación es alto, pero a largo plazo son convenientes, ya que la energía del sol es gratuita y por lo tanto una vez instalados con todos los accesorios necesarios se puede obtener electricidad u otra energía como el calor, sin necesidad de gastos fijos, más que la inversión primordial y los posibles gastos de mantenimiento que requiera.

También se conoce de paneles solares al hablar de calentadores de agua o calefacción para ambientes normalmente domésticos, las ventajas de estos son más o menos las mismas que la de los paneles fotovoltaicos (los que generan electricidad), pues las casas que utilizan estos paneles no necesitan de gases nocivos para calentar el agua u otra energía que se utiliza y a la larga se ahorra dinero al no comprar estos mismos carburantes que dañan el medio ambiente.

6. INTEGRACIÓN DE COSTOS Y GASTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN

6.1. Costos generales para la construcción del horno y el contenedor

Los gastos indicados a continuación describen la cantidad de material a usarse para la construcción del horno y contenedor con las medidas indicadas anteriormente.

Tabla IV. **Costos para contenedor y base de contenedor**

No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANITIDAD	PRECIO UNITARIO Q.	TOTAL Q.
1	Varillas 3/8 X 6 mts G-40	unidad	18	32,30	581,40
2	Varillas 1/4 X 6 mts LEG	unidad	18	11,30	203,40
3	Monocapa blanco 40 kg (8611-039)	sacos	100	58,20	5 820,00
4	Mezcla M sabieta 50 kg (0050)	sacos	12	41,60	499,20
5	Grava 3002 PSI 1/2 50 kg (8611 - 0045)	sacos	42	28,90	1 213,80
6	Block 15 X 20 X 40 cm	unidad	375	3,60	1 350,00
7	Alambre amarre	libras	3	6,45	19,35
	SUB TOTAL				9 687,15
8	Se agrega un 5% del total para costos de formateo, clavos, herramientas menores				484,36
9	Mano de obra				4 500,00
	TOTAL				14 671,51

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Costos para contenedor y base de contenedor

No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANITIDAD	PRECIO UNITARIO Q.	TOTAL Q.
1	Contenedor con medidas	unidad	1	50 000,00	50 000,00
2	Grava 3002 PSI 1/2 50 Kg (8611 - 0045)	sacos	84	28,90	2 427,60
3	Varillas 3/8 X 6 mts grado 40	unidad	23	32,00	740,60
	SUB TOTAL				53 168,20
4	Se agrega un 5% del total para costos de formaleteo, clavos, herramientas menores				158, 41
5	Mano de obra				2 000,00
	TOTAL				55 326,61

Fuente: elaboración propia.

6.2. Costos de paneles solares

El costo de los paneles solares, se ha calculado con base en cotizaciones en el exterior del país, ya que no existe tecnología exacta que se encuentre de venta en el país, buscando en fuentes extranjeras probables precios. Ver tabla.

Tabla VI. Costo de paneles solares

No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANITIDAD	PRECIO UNITARIO Q.	TOTAL Q.
1	Paneles solares de alto rendimiento, con capacidad de producir hasta 90 °C marco de acero de 4 mt y accesorios.	unidad	3	8 000,00	24 000,00
	TOTAL				24 000,00

Fuente: elaboración propia.

6.3. Costo de los materiales necesarios para montaje

La estructura del horno y contenedor deberá contar con los accesorios siguientes. Ver tabla.

Tabla VII. **Costos de materiales necesarios para el montaje**

No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANITIDAD	PRECIO UNITARIO Q.	TOTAL Q.
1	Puerta metálica corrediza con chapa instalada	unidad	1	3 000,00	3 000,00
2	Selladores a presión	unidad	4	75,00	300,00
3	Camionada piedras de rio de 25 x 15 cm	unidad	1	500,00	500,00
4	Bastidores metálicos	unidad	4	500,00	2 000,00
5	Ductos metálicos cuadrados de 5" x 5" x 12" de lamina galvanizada calibre 24 con valvula de cierre de aprox 7mt	unidad	1	1 400,00	1 400,00
	SUB TOTAL				7 200,00
6	Mano de obra para instalación de ductos puerta, bastidores				3,000.00
TOTAL ELEMENTOS EXTRA DE HORNO Y CONTENEDOR					10 200,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Costos de electricidad, iluminación y fuerza**

No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANITIDAD	PRECIO UNITARIO Q.	TOTAL Q.
1	Iluminación interna y externa con todo el sistema de tuberías y cableado así como la colocación de tablero receptor central.	unidad	1	2 000,00	2 000,00
2	Mano de obra de instalación			80,00	800,00
TOTAL DE ACCESORIOS					2 800,00

Fuente: elaboración propia.

6.4. Costos de los accesorios necesarios para la implementación

Elementos que deberá llevar el horno para el control del funcionamiento.

Tabla IX. Costo de accesorios

No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANITIDAD	PRECIO UNITARIOQ.	TOTAL Q.
1	sensor de humedad	unidad	1	1 500,00	1 500,00
2	sensor de temperatura	unidad	1	850,00	850,00
3	motor ventilador 3/4 Hp 110 o 220 V	unidad	1	4 000,00	4 000,00
4	caja almacenadora de lectores de sensores	unidad	1	500,00	500,00
TOTAL DE ACCESORIOS					6 850,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Total gastos a realizar

Suministros totales	Q.	113 848,10
Imprevistos (10 %)	Q.	11 384,81
Total montaje y funcionamiento	Q.	125 232,90

Fuente: elaboración propia.

6.5. Análisis financieros contra otros tipos de secadores

Según análisis y comparaciones realizadas con otros tipos de secadores se encuentra que el gasto es menor en un 35% en la fabricación e implementación del horno solar, ya que en la mayoría de los otros tipos de hornos se deben utilizar grandes calderas que utilizan algún carburante que tendrá un costo

continuo, mientras que el horno antes presentado, su único gasto eventual será de mantenimiento, el necesario para que mantenga el rendimiento requerido.

Por este motivo, sobre la energía renovable se dice que la única inversión es el tiempo para diseñar cómo utilizar los recursos que el mundo brinda, los cuales no tienen costo.

7. SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA

7.1. Mantenimiento

Es un conjunto coherente de políticas y procedimientos, a través de las cuales se realiza la gestión de mantenimiento para lograr la disponibilidad requerida de los equipos al costo más conveniente.

Actualmente, el reto para la industria es la mejor utilización de sus recursos, para obtener la mayor calidad del producto con una cantidad exigida. Para ello se hace necesario asegurar a través del mantenimiento, la disponibilidad de los equipos, teniendo presentes los nuevos avances tecnológicos, los cuales facilitan ideas revolucionarias.

La ingeniería tiene vital importancia para el desarrollo industrial de un país; se encarga de organizar, planificar, controlar y llevar a cabo aquellas acciones que son necesarias para obtener una producción continua, así como la conservación y una alta eficiencia en las máquinas. Por tanto, el mantenimiento utiliza conocimientos del resto de las especialidades con la finalidad de alcanzar su objetivo.

Conscientes del avance tecnológico y del incremento de los costos de mantenimiento, es común encontrar en una empresa bien estructurada, el empleo de grandes recursos sin obtener resultados proporcionales a los mismos, logrando rendimientos imprevistos.

El mantenimiento ejecuta diferentes actividades, tales como:

Prueba, inspección, reemplazo, reinstalación, detección y análisis de fallas, calibración, reparación, modificación reconstrucción, lubricación y mejoramiento, a través de la optimización de los recursos humanos y económicos, con el fin de mantener las condiciones de los servicios establecidas según el diseño de los equipos, y de lograr el alcance de la vida útil de los mismos, para lo cual existen diversos tipos de mantenimiento que se deben adecuar dependiendo de el equipo, tiempo de uso del equipo y la continuidad de servicio.

El mantenimiento se clasifica en dos grandes ramas: el preventivo y el correctivo. Dadas las tendencias a confundir los límites que separan dichas actividades, se subdividen estas grandes actividades en seis tipos de mantenimiento.

- Rutinario
- Programado
- Por averse o reparación
- Correctivo
- Circunstancial
- Preventivo

7.2. Tipo de mantenimiento para el horno

El mantenimiento más adecuado para el horno que se propone en este trabajo de graduación debe ser el preventivo, ya que por ser un horno a nivel piloto no tendrá un uso consecutivo, si no más bien, enfocado a la realización de investigación, pruebas, análisis, experimentos que generen datos para poder ser aplicados a un nivel macro.

El paso principal para iniciar el mantenimiento será tener un listado, un diagrama y la ficha técnica de todo el equipo, materiales, instalaciones,

accesorios ya codificados que compongan el horno para tener una noción de lo que se va a supervisar.

Teniendo en cuenta estos aspectos, debe ser la persona que realice el mantenimiento preventivo quien decida si existe alguna falla en la que tenga que aplicarse el mantenimiento correctivo a alguno de los elementos que conformen el horno.

7.3. Frecuencia con que se debe realizar el mantenimiento

Por el uso experimental que se le dará al horno secador de madera y su tiempo de uso, lo propuesto idóneamente es aplicar un mantenimiento preventivo semestral, ya que esto indica que no tendrá un uso continuo.

En cada mantenimiento preventivo semestral se debe dar revisión, primordialmente, a los motores impulsadores de aire, a las estructuras de los paneles solares, a los conductos que transmiten el calor del contenedor al horno, al recubrimiento del horno, a la puerta de sellado, a las estructuras internas del horno, a las conexiones eléctricas, a los posibles lugares en donde se pueda generar corrosión y abrasión por el medio ambiente. Si así lo amerita, según la experiencia de la persona que realice el mantenimiento sugerido (Ingeniero Mecánico o Mecánico Industrial), debe darle el respectivo mantenimiento correctivo.

7.4. Beneficios de realizar el mantenimiento

El principal beneficio que se obtiene al realizar el mantenimiento al horno secador de madera, como a cualquier equipo o maquinaria que tenga integrado en su sistema de funcionamiento elementos mecánicos, electrónicos, eléctricos, y sobre todo humanos, es evitar de manera anticipada cualquier inconveniente o accidente, que pueda afectar de manera directa e indirecta el efectivo

funcionamiento de las partes, las piezas y el personal que actúen en dicho horno y realizar gastos innecesarios o excesivos para su reparación.

Esto debe ser parte de una serie de actividades programadas que las personas encargadas del horno secador de madera deben tener.

CONCLUSIONES

1. Diseño de un secador para madera solar con almacenamiento de calor automático en un contenedor con piedras, que cumple con las necesidades requeridas por la sección de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ingeniería de la USAC.
2. El secador propuesto en el presente trabajo de graduación será de gran utilidad para la sección de Tecnología de la Madera, así como para la Universidad de San Carlos de Guatemala, con lo cual se logrará demostrar, de manera física, los beneficios que se pueden obtener de energías renovables, específicamente el sol.
3. El horno secado de madera solar servirá para una gran cantidad de proyectos e investigaciones que tienen como temática: el uso y la transformación, de la madera, siendo éste un instrumento más para realizar pruebas y análisis, lo cual fortalecerá el contenido de sus estudios.
4. La madera sufre de diversas fases en su transformación, y el secado es una de las más importantes, ya que esto define las propiedades mecánicas, físicas y químicas de cada especie. Siendo el horno un instrumento de secado artificial con gastos mínimos.
5. El horno secador demuestra de manera eficiente y sencilla que la energía renovable debe ser utilizada con más frecuencia, evitando de esta manera el creciente uso desmedido de recursos naturales no renovables.

6. La energía que provee el sol con 8 horas de insolación diaria, según cálculos, se logrará minimizar en un 50% el tiempo de secado comparándolo con la manera natural.
7. Con el presente horno se demuestra que se pueden minimizar hasta en un 50% los gastos en carburantes para el secado de madera.
8. El horno propuesto en este trabajo de graduación esta susceptible a cambios en función de perfeccionar su funcionamiento y la calidad de su finalidad.

RECOMENDACIONES

1. A la sección de Tecnología de la Madera poner en funcionamiento lo antes posible el horno propuesto en el presente trabajo de graduación, ya que será un gran aporte para la investigación, y de esta forma elevar los niveles de conocimiento y aprovechamiento de energías renovables.
2. Instar a las diferentes unidades académicas, empresariales, equipos de investigación y personas individuales a continuar con el estudio de secadores solares.
3. Los integrantes de la sección de Tecnología de la Madera deben demostrar que el uso de energías renovables es de gran rentabilidad en la industria.
4. A través de la Sección de Tecnología de la Madera, implementar programas de capacitación para el personal que dará uso al horno.
5. La sección de Tecnología de la Madera debe compartir la tecnología utilizada en el horno secador de madera, para ser fuente de conocimiento para otras instituciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIAZA, Hugo. *Diagnóstico del sector energético del área rural de Guatemala*. Guatemala: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 2005. 117 p.
2. CENGEL, Yanus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 5ª ed. Valencia: McGraw-Hill, 2009. 1008 p.
3. DECK, E.C. *Ney Look in Air-Dryng Lumber Yard*. US Departament of Agriculture. Technical Article, 1994. 245 p.
4. ESTEIRE, Eva. *Energía renovable, manual técnico*. [en línea] <http://www.amvediciones.com/enerenov.htm> [Consulta: 30 de abril de 2011].
5. FERNÁNDEZ, Juan Ignacio. *Manual de secado de madera*. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho, D.L, 1998. 168 p.
6. HUANG, Francis. *Ingeniería termodinámica*. 4ª ed. México: CECSA, 1981. 599 p.
7. JCGR. *Secado de madera*. [en línea] http://www.secadomadera.com/el_proceso_de_secado.htm [Consulta: 24 de octubre de 2011].

8. PASQUARIELLO, Diego. *Técnicas de hornos y cámaras de secado*. [en línea] http://www.ingenierialpl.com.ar/hornos.htm_ [Consulta: 2 de abril de 2011].
9. ROMO, Susana. *Estequiometría del secado*. [en línea] <http://www.quimica.urv.es/~w3siiq/DALUMNES/99/siiq51/ema.html> [Consulta: 12 de junio de 2011].
10. SPS Energía Solar. *Placas solares y sus aplicaciones*. [en línea] http://www.placas-solares.info/Index.php?Acumuladores_solares [Consulta: 23 de agosto de 2011].

APÉNDICES

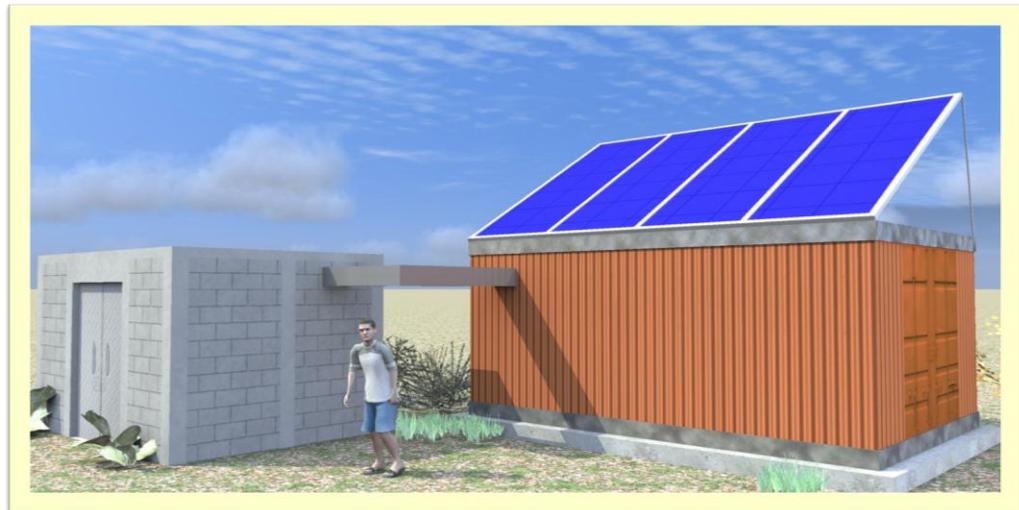
1. Vista frontal e interna del horno secador de madera.
2. Vista lateral e interna del contenedor de calor.
3. Vista lateral e interna del contenedor de calor y del horno secador de madera.
4. Vista de conjunto del horno secador y del contenedor de calor con paneles solares instalados.

Apéndice 1. Vista Frontal e interna de horno secador de madera



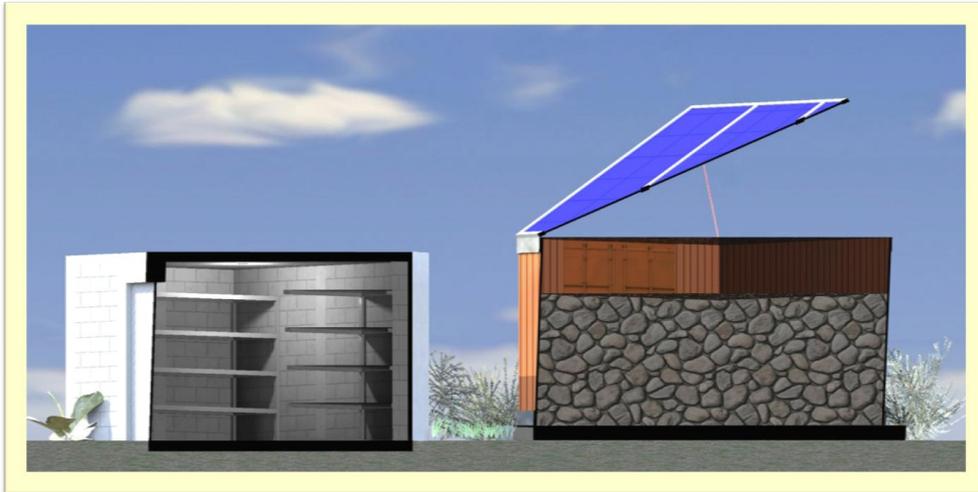
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Vista conjunto de horno secador y contenedor de calor con paneles solares instalados



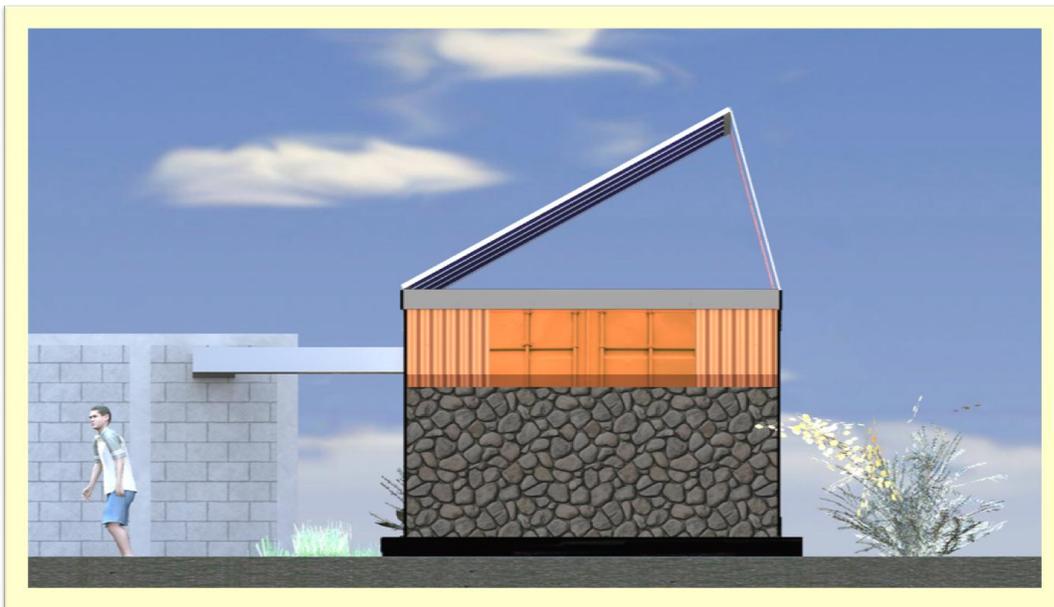
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Vista lateral e interna de contenedor de calor y horno secador de madera



Fuente: elaboración propia

Apéndice 4. Vista lateral e interna de contenedor de calor

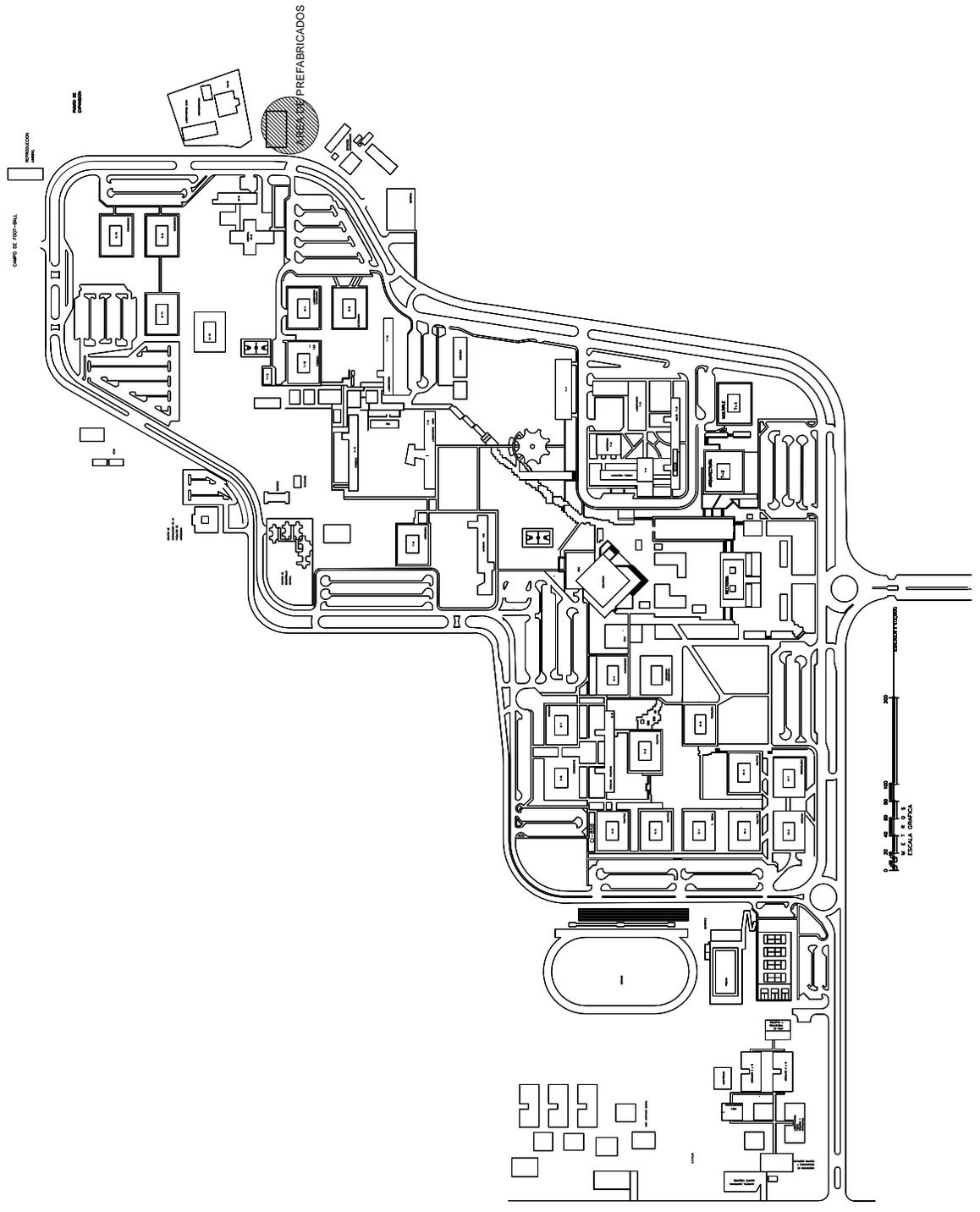


Fuente: elaboración propia

ANEXOS

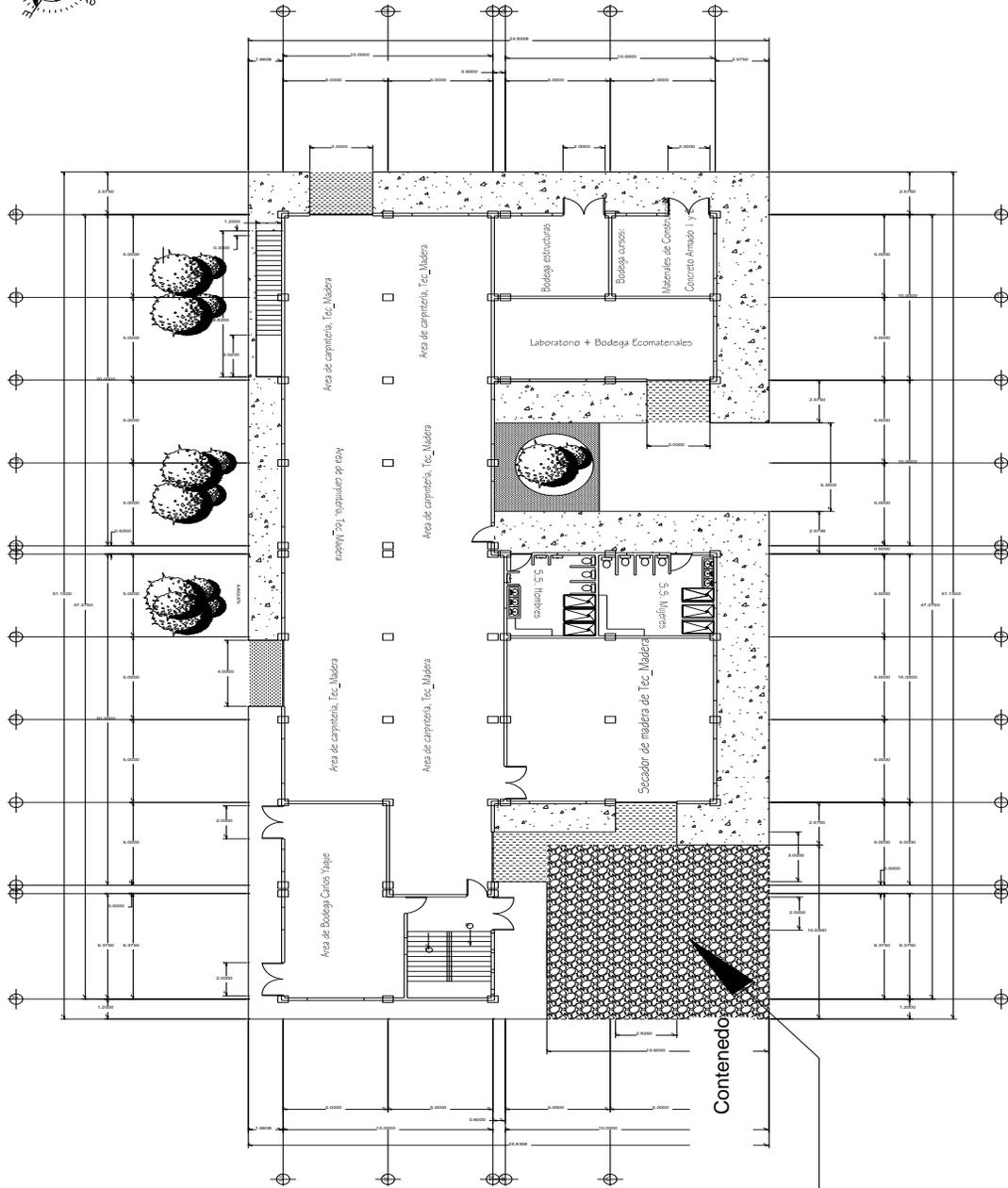
1. Mapa localización de prefabricados en USAC.
2. Plano ubicación de horno y contenedor en sección de Tecnología de la Madera.
3. Plano vista frontal de horno secador.

Anexo 1. Mapa localización de prefabricados en USAC



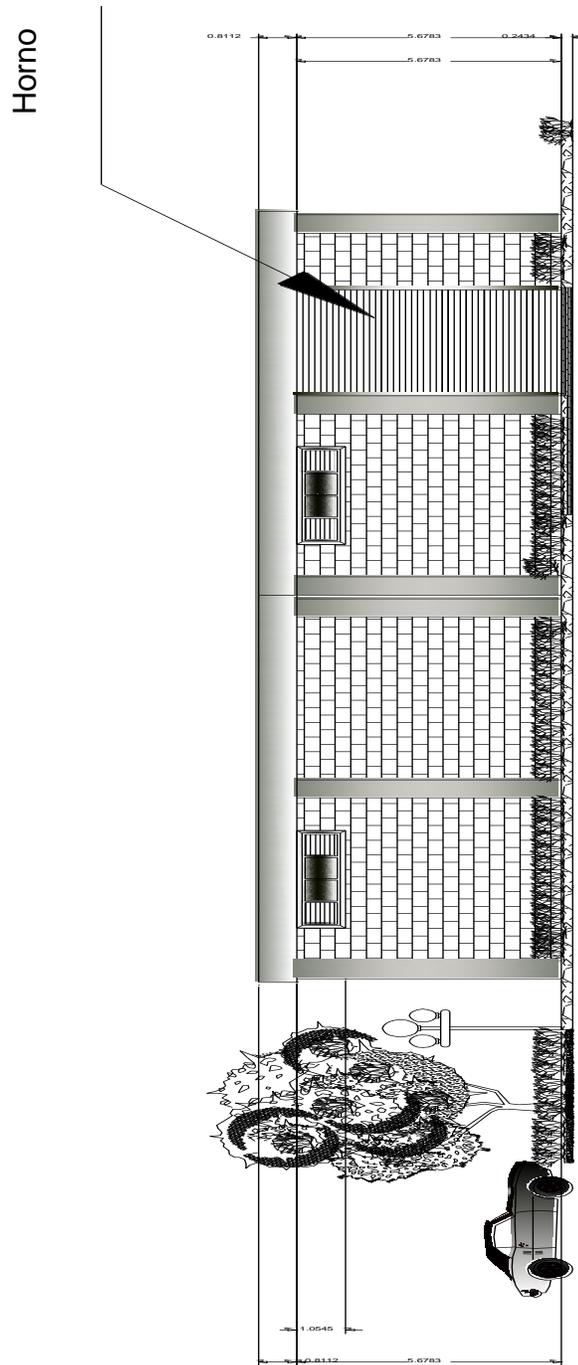
Fuente: CONSTRERAS, Fredy.

Anexo 2. Plano ubicación de horno y contenedor en sección de tecnología de la madera



Fuente: CONTRERAS, Fredy.

Anexo 3. Plano vista frontal horno secador



Fuente: CONTRERAS, Fredy.

