

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is circular, featuring a central figure and the Latin motto "CONSPICUA CAROLINA AGMINA CAETERIS INTER GUATEMALENSIS" around the perimeter.

**DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA HÍBRIDO Y
AUTOMÁTICO CON VENTILACIÓN FORZADA PARA APLICACIÓN EN
PROYECTOS DE DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**

Tesis

Presentada al comité de la Maestría en Energía y Ambiente

Por

PABLO CHRISTIAN DE LEÓN RODRÍGUEZ

Ingeniero Civil

ASESORADO POR: M.Sc ING. ROMEL ALARIC GARCÍA PRADO

Al conferírsele el título de Maestría en Ciencias en Energía y Ambiente

Guatemala, julio de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton de León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Saenz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de tesis titulado:

DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA HÍBRIDO Y AUTOMÁTICO CON VENTILACIÓN FORZADA PARA APLICACIÓN EN PROYECTOS DE DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado en
agosto de 2008

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA HIBRIDO Y AUTOMÁTICO CON VENTILACIÓN FORZADA**, presentado por el Ingeniero Civil Pablo Christian de León Rodríguez, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hugo Leonel Ramirez Ortiz'.

Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
Coordinador
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Julio de 2009.

/zc.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Energía y Ambiente del trabajo de tesis de graduación titulado **DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA HIBRIDO Y AUTOMÁTICO CON VENTILACIÓN FORZADA**, presentado por el Ingeniero Civil Pablo Christian de León Rodríguez, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez', written over a faint circular stamp.

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Julio de 2009.

/zc.



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA HIBRIDO Y AUTOMÁTICO CON VENTILACIÓN FORZADA**, presentado por el Ingeniero Civil Pablo Christian de León Rodríguez, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Julio de 2009.

/zc.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. D. Postgrado 005.2009

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 Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA HÍBRIDO Y AUTOMÁTICO CON VENTILACIÓN FORZADA PARA APLICACIÓN EN PROYECTOS DE DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el Ingeniero Civil Pablo Christian de León Rodríguez, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized loop at the top and several vertical strokes below.

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, julio de 2009

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos De Guatemala.

A la Universidad de Cádiz y a su cuerpo docente por brindarme el privilegio de ser partícipe de gozar cátedras con maestros de alto nivel pedagógico y académico.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala por permitirme cursar esta maestría.

A mi asesor el M.Sc. Romel Alaric García Prado.

A mis compañeros de la Sección de Metales y Productos manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

A los siguientes profesionales:

Lic. Roberto Alfonso Solís de León, Dr. Víctor Quiroa, Arq. Anibal Peque, Licda. Sonia Hernández de Peque, Ing. Carlos Bolaños, Ing. Ronaldo Hidalgo, Licda. Milagro Fajardo, Inga. Gabriela Hernández, Inga. Natalia Espinal y todos los compañeros de la maestría, por dedicarme su conocimiento, tiempo y amistad a lo largo de todo este proceso académico.

A mi esposa Leslie Ana María y a mis hijos Claudia Alejandra, José Ricardo y Juan de Dios por darme amor, apoyo y muchísima paciencia.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS. . . . .	.vi
ÍNDICE DE PLANOS. . . . .	.vii
INDICE DE FOTOGRAFÍAS.. . . .	.viii
GLOSARIO. . . . .	.x
RESUMEN. . . . .	.xii
OBJETIVOS. . . . .	.xiv
OBJETIVOS GENERALES. . . . .	.xiv
OBJETIVOS ESPECÍFICOS. . . . .	.xiv
INTRODUCCIÓN. . . . .	.1
ANTECEDENTES . . . . .	.5
JUSTIFICACIÓN . . . . .	.7
CAPITULO 1	
MARCO TEÓRICO. . . . .	.9
1.1. FENÓMENO DE TRANSFERENCIA DE CALOR. . . . .	.9

1.1.1.	CONDUCCIÓN.	. . . . .	.9
1.1.2.	CONVECCIÓN.	. . . . .	.9
1.1.3.	RADIACIÓN.	. . . . .	.10
1.2	CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SECADO.	. . . . .	.11
1.2.1.	MECANISMOS DE CIRCULACIÓN DEL LÍQUIDO EN EL SÓLIDO DURANTE EL SECADO.	. . . . .	.11
1.2.2	LOS PERÍODOS DEL SECADO.	. . . . .	.12
1.2.3	PSICROMETRÍA DEL SECADO.	. . . . .	.14
1.3	EFFECTO DE INVERNADERO.	. . . . .	.16
1.4	SECADOR SOLAR HÍBRIDO.	. . . . .	.16
CAPITULO 2			
	METODOLOGÍA, TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTO.	. . . . .	.17
2.1.	METODOLOGÍA	. . . . .	. 17
2.2.	TÉCNICAS.	. . . . .	. 18
2.3.	PROCEDIMIENTO	. . . . .	. 18
CAPITULO 3			
	CÁLCULO DE LA ENERGÍA APORTADA POR EL SOL	. . . . .	. 19
3.1.	ÁREA DE EXPOSICIÓN	. . . . .	. 19
3.2.	VOLÚMEN INTERNO DEL SECADOR.	. . . . .	. 20

3.3.	VOLÚMEN OCUPADO POR LA MADERA.	. . . . .	. 20
3.4.	DENSIDAD DE LA MADERA HÚMEDA	. . . . .	. 21
3.5.	AGUA REMOVIDA POR METRO CÚBICO DE MADERA	. . . . .	. 21
3.6.	AGUA REMOVIDA TOTAL	. . . . .	. 22
3.7.	CALOR ESPECÍFICO DE LA MADERA HÚMEDA	. . . . .	. 22
3.8.	ENTALPÍA Y HUMEDAD ABSOLUTA DEL AIRE	. . . . .	. 23
3.9.	HUMEDAD ABSORVIDA POR KILOGRAMO DE AIRE SECO	. . . . .	. 23
3.10.	CONSUMO DE AIRE.	. . . . .	. 23
3.11.	CALOR SUMINISTRADO PARA CALENTAR MADERA.	. . . . .	. 24
3.12.	CALOR SUMINISTRADO PARA LA TRANSFERENCIA DE MASA	. . . . .	. 25
3.13.	PÉRDIDA DE CALOR POR CONVECCIÓN	. . . . .	. 25
3.14.	CALOR TOTAL REQUERIDO PARA EL SECADO.	. . . . .	. 26
3.15.	TIEMPO DE SECADO NETO	. . . . .	. 26
3.16.	TIEMPO DE SECADO REAL	. . . . .	. 28

CAPITULO 4

FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DEL

	SECADOR SOLAR	. . . . .	. 29
4.1.	FUNCIONAMIENTO	. . . . .	. 29
4.2.	CARACTERÍSTICAS	. . . . .	. 31

4.2.1.	DESCRIPCIÓN DE GEOMETRÍA, MATERIALES Y EQUIPO	. 31
4.2.1.1.	GEOMETRÍA . . . . .	. 31
4.2.1.2.	MATERIALES Y EQUIPO . . . . .	. 32
4.2.1.3.	COSTOS . . . . .	. 33
4.2.1.3.1	ANÁLISIS DE COSTOS . . . . .	. 33
4.2.1.4	AUTOMATIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO . . . . .	. 34
4.2.1.4.1	SISTEMAS DE CONTROL PARA EL CUARTO DE SECADO . . . . .	. 35
	CONCLUSIONES . . . . .	. 37
	RECOMENDACIONES . . . . .	. 41
	BIBLIOGRAFÍA. . . . .	. 43
	REFERENCIAS ELECTRÓNICAS. . . . .	. 45
	ANEXOS . . . . .	. 47

ÍNDICE DE FIGURAS

GRÁFICA DE VELOCIDAD DE SECADO 17

DIAGRAMA PSICROMÉTRICO AIRE-AGUA 18

ÍNDICE DE PLANOS

I.	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE LA SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA USAC . . . . .	. 50
II.	UBICACIÓN DEL SECADOR SOLAR EN EL ÁREA DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES DEL CII . . . . .	. 51
III.	FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR. . . . .	. 56
IV.	COMPONENTES . . . . .	. 57
V.	PLANTA. . . . .	. 58
VI.	ELEVACIONES. . . . .	. 59
VII.	VISTA EXPLOTADA . . . . .	. 60
VIII.	PLANOS DE AUTOMATIZACIÓN DIAGRAMA DE ESTADO . . . . .	. 61
IX.	DIAGRAMA DE ESCALERA DEL CONTROL . . . . .	. 62
X.	DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL PLC . . . . .	. 63
XI.	DIAGRAMA DEL SISTEMA ELÉCTRICO . . . . .	. 64

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

UBICACIÓN DEL SECADOR SOLAR EN ÁREA DE TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES . . . . .	. 52
INVERNADERO DE POLIETILENO PARA SECAR MADERA . . . . .	. 55

GLOSARIO

- ❖ Energía solar
Energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol.
- ❖ Deseccación
Eliminar un líquido de un sólido por procedimientos térmicos.
- ❖ Calor
Transferencia de Energía de una parte a otra, de un cuerpo o entre diferentes cuerpos, en virtud de una diferencia de temperatura.
- ❖ Transferencia de calor
Razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor.
- ❖ Convección
Mecanismo de transferencia de calor que implica el transporte de este a través de una fase.
- ❖ Convección Forzada
Convección en la que el flujo se produce por medio de la diferencia de presión lograda por bombas, ventiladores.

- ❖ Convección Natural
Convección en la que el movimiento de los fluidos, es el resultado de variaciones de densidad en la transferencia de calor.
- ❖ Deflector
Dispositivos utilizados, para inducir turbulencia, fuera de los ventiladores.
- ❖ Híbrido
Dícese de todo lo que es producto de elementos de distinta naturaleza.
- ❖ Intercambiador de calor
Equipo que transfiere calor de un cuerpo con alta temperatura a otro con temperatura más baja sin que exista contacto entre ambos.
- ❖ Fuentes alternas de energía
Todo tipo de energía aprovechable que no depende del uso de derivados de petróleo.
- ❖ Servomecanismos
Motores de dimensiones pequeñas que funcionan con impulsos eléctricos, a los cuales se les puede acoplar engranajes, poleas, sprocket para cadenas, entre otros.

Resumen

La Energía Solar, que es totalmente gratis, es la más abundante sobre la tierra y si relacionamos la sección de nuestro planeta que es aproximadamente $1.3 \times 10^6 \text{ km}^2$, con la cantidad de energía que llega a la superficie, que es equivalente a 1 kW/m^2 , da un total de $175 \times 10^9 \text{ MW}$. Este valor es simplemente colosal y el bajo aprovechamiento de este abundante recurso energético, se debe principalmente al uso inmoderado de fuentes de energía no renovables, que son altamente contaminantes y que destruyen el medio ambiente.

En efecto, el uso inmoderado del petróleo y sus derivados, el carbón y gas natural, **relativamente**, lo que han hecho es facilitar y mejorar la vida de las personas, y a la vez **empeorarlo**, debido a que estos producen contaminantes que son tóxicos tanto para la salud de las personas como para la salud de otros organismos, pero la actual crisis económica, producto de “políticas” de globalización, ha dado un impulso gigantesco a la utilización de todo tipo de fuentes alternas de energía, es decir: Solar, eólica, hidráulica, entre otras.

En tal virtud, el presente trabajo de tesis trata sobre el aprovechamiento de la energía irradiada por el sol para ser usada en secar madera aserrada, y la propuesta, es diseñar un secador solar para madera, construido con materiales aislantes, que tenga las características de funcionamiento automático, o sea que contará con sensores de humedad relativa que cuando este valor sea muy alto, se activarán servomecanismos que abrirán las ventanas que desalojan el aire húmedo del secador, como también las válvulas que permiten la entrada de aire seco para continuar con el proceso de secado. También los ventiladores serán accionados automáticamente para mantener una distribución constante y

equitativa del aire sobre la totalidad de la superficie de la madera que está siendo secada por arrastre laminar de un flujo de aire.

Otra característica del secador consiste en que es **híbrido**, esto quiere decir, que en presencia de nubes o por la noche, entrará a funcionar automáticamente un deshumidificador que se accionará si el valor de la humedad relativa es alto.

El volumen útil del secador solar es de 18 m^3 y permite secar:

155 tablas de 1"X 12"X16', con un área neta expuesta igual a 444 m^2 o 330 piezas de 2"X4"X16' con un área neta expuesta igual a 308.54 m^2 .

Tomando en cuenta sólo la energía que provee el sol, con 10 horas de insolación diaria, los cálculos nos dan un tiempo de residencia de la madera dentro del secador, para las tablas de 1"X12"X16' igual a 7.3 días y para las piezas de 2"X4"X16' igual a 10.3 días. El tiempo se reduce a la mitad si el secador funciona híbridamente o sea que su operación es reforzada con la acción del **deshumidificador**.

El fin último y primordial de este trabajo es estimular la consciencia ambiental de toda la comunidad de la facultad de ingeniería y que a través de este tipo de proyectos se enriquezcan los programas de docencia, investigación y servicio de la comunidad universitaria.

OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Presentar el diseño de un secador para madera híbrido y automático con ventilación forzada para aplicación en proyectos de docencia, investigación y servicio de la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Proponer un prototipo de secador para madera para la docencia en el pensum de ingeniería con el propósito de resaltar el beneficio del uso de la energía solar.
2. Proyectar el prototipo propuesto para que se realicen investigaciones que presenten ventajas del aprovechamiento de la energía solar, como el uso de la madera seca obtenida a través de la utilización del proceso que se propone.
3. Servir de ilustración para personas interesadas tanto, en uso de energía solar, como para quienes trabajan la madera.
4. Presentar una opción de secado de madera, para el uso de comunidades del área rural, Organizaciones Gubernamentales, No Gubernamentales, de carácter privado y otras.

5. Incentivar nuevamente el uso de la tecnología de secadores solares de madera, que sean eficientes.

6. Involucrar el diseño de secadores solares y otras tecnologías, a los diferentes profesionales, de las áreas de la Ingeniería que se imparten en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

La humanidad está en los albores del siglo XXI, afrontando una crisis que nunca antes se había presentado en el curso de la historia con los ribetes actuales:

- Un deterioro del medio ambiente generalizado
- Una crisis climática sin precedentes
- Debacle de la economía mundial, propiciada por el modelo económico impuesto por los países del primer mundo que forman el G7 (Alemania, Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Italia, Francia y Japón).
- La ampliación de la brecha norte sur. En cuanto al uso de tecnologías por la situación de recursos disponibles
- La ampliación del mapa mundial en cuanto a la intensificación de la línea de pobreza y muchos otros factores más de carácter concurrente.

En muchas casas de estudio superior, toda esta gama de problemas han sido objeto de discusión con la finalidad de buscar soluciones, que al margen de los centros de poder, constituyan una luz en el camino para la humanidad que como tal, se juega su presente y el de las generaciones futuras.

Partiendo de la génesis del problema, se establece que el cambio climático y el calentamiento global, tiene su principal origen en la globalización de los mercados, que ha traído consigo una cantidad incontrolable de productos fabricados en las enormes factorías industriales que controlan las grandes potencias y que inciden en una creciente explotación de los recursos naturales y en la destrucción de elementos vitales para la subsistencia humana como el

aire y el agua; esta última envenenada por desechos industriales de carácter fabril o químico como en el caso de la explotación minera, en vetas o en cielo abierto.

Esto afecta la tierra, el régimen de lluvias, propicia la desertificación del planeta, el descontrol del clima, la agudización de fenómenos naturales tales como: ciclones, tornados, tifones, olas de calor, inundaciones, escasez de agua limpia para beber, aparición de pandemias y daños en la producción de alimentos de origen agrícola, todo esto, provocado por el descontrol humano en la explotación racional de los recursos.

Aunque para algunos escépticos, el panorama que se esboza a grandes rasgos pueda parecerles exagerado, la realidad que se está viviendo constituye la respuesta objetiva y contundente para sus dudas.

En países como Guatemala, donde la producción energética apenas sobrepasa la demanda, la política de los gobiernos y en especial la de la universidad de San Carlos de Guatemala, debe ser la de poner el acento en la investigación científica en todos los órdenes, pero especialmente en las áreas físico químicas, con la finalidad de incentivar la investigación tecnológica, que permita obtener avances en la medicina, física, química, ingeniería, agronomía y en general, en todas las ciencias sociales. Sólo de esa forma se podrá avanzar y para el efecto, la Universidad puede crear el Instituto de Investigación Científica para forjar a los futuros estudiantes, de tal manera que éstos constituyan la vanguardia de científicos en los que se pueda depositar, la esperanza del progreso que todos anhelan para esta nación.

En este marco de referencia, que antecede a la presentación de la investigación; se establecen los vínculos con el diseño de un secador solar híbrido y automático con ventilación forzada en donde se utiliza la energía solar. Enmarcando dentro de las fuentes alternas de dicha energía, que dentro

de sus principales fortalezas está la de no depender del petróleo y sus derivados.

Es un aparato de uso práctico, no contaminante, económico, con ampliaciones potenciales por los principios que lo sustentan en otros campos de la actividad humana. Constituye un aporte, pero aún más, un valioso mensaje del que el ingenio humano, siempre seguirá siendo una característica de la humanidad, para afrontar los grandes desafíos del presente y el futuro.

ANTECEDENTES

El secado siempre se ha realizado al aire libre apilando de diferentes formas la madera, con el objeto 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.

El apilar la madera al aire libre esperando que 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.

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

Lo más usado 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. Esta metodología es de bajo costo pero presenta el inconveniente de que su vida útil es muy corta.

Dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala, las facultades de Ingeniería y Agronomía han trabajado proyectos conjuntos, sobre la caracterización de diferentes tipos de madera que van desde los análisis físico-químicos, anatómicos y mecánicos. Dichos Proyectos, representan un importante aporte científico y vinculante en cuanto al trabajo interdisciplinario se refiere; pero, a esto hay que agregar que se tiene la limitación de que no existe

una estandarización de temperatura en las muestras de madera que han sido sometidas a estudio.

En el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), ^(1*) se construyó un secador solar con estructura de madera y plástico negro que a la fecha, ya no tiene ningún tipo de utilidad (ver fotografías en anexos, pág. 55). Este artefacto, en su momento, cumplió su función pero últimamente se encuentra deteriorado debido a la baja calidad de los materiales. Y, su función actual consiste en proteger medianamente de las inclemencias del tiempo a la madera que está dentro de él.

En las comunidades rurales, existe la necesidad de asistencia técnica que involucre este tipo de tecnologías con el fin de que la transformación de la madera de estado virgen, a producto terminado no presente defectos de agrietamiento por un mal tratamiento inicial de secado. Lo anterior, ha sido observado por el autor en visitas de campo, que realizó a lugares del Occidente de la república, donde se pudo apreciar que la madera con la que están hechos los muebles, juguetes y otros bienes manifiestan, grietas que son producto de un uso de madera sin secar (verde) en la fabricación de los mismos.

(1*) ver fotografías en Anexos

JUSTIFICACIÓN

Se considera que en el seno de la Universidad, existe mucho potencial humano que no ha sido cultivado por razones estructurales de la casa de estudios y porque hasta hoy, las políticas de investigación que sustentan a la Dirección General de Investigación (DIGI) están desactualizadas en relación al tiempo y el espacio.

La DIGI, es un organismo universitario que por su experiencia en los campos de la investigación, especialmente relacionada con el campo social humanista, debe ser considerado como la base sobre la cual debe fundarse con visión, el INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, o como se quiera denominar, dotándolo de los organismos rectores adecuados para su funcionamiento y enriquecido con científicos guatemaltecos formados en el exterior, para que aporten con conocimiento de causa, sus experiencias en cuanto a financiación, funcionamiento y campos prioritarios de ejecución.

El Gobierno de la República, tal como lo hacen otros Gobiernos de América Latina, debe destinar un presupuesto decoroso específico, dentro de sus ingresos fiscales y donaciones del exterior, que constituyen el Presupuesto General de Gastos de la Nación y la Universidad de San Carlos de Guatemala puede adquirir el compromiso de invertir íntegramente ese porcentaje en el mantenimiento, adquisición de equipo y gastos de funcionamiento del mismo, así como, gestionar financiamiento extra gubernamental en instituciones internacionales de servicio.

Lo que se necesita es que el estudiante tenga a su disposición, todas las facilidades académicas para brindar un mejor proceso de enseñanza-aprendizaje.

Estas consideraciones dan sustento al informe final del suscrito como parte de la culminación de la Maestría en ENERGÍA Y AMBIENTE, constituyendo una sencilla, pero significativa, muestra de que nunca es tarde para aspirar a algo mejor, que los sueños y anhelos abrigados en el espíritu y el intelecto de numerosos estudiantes, puedan ser realidad y que para alcanzarlos hay que iniciar un proceso que va de lo sencillo a lo complicado, de la necesidad sentida a la necesidad satisfecha, a través del cumplimiento de objetivos y metas viables.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Fenómenos de Transferencia de calor

1.1.1. Conducción

Es el mecanismo de transferencia de calor que se produce entre dos cuerpos en contacto, en el que sólo están involucradas las colisiones a nivel molecular entre el cuerpo con temperatura más alta y el cuerpo con la temperatura más baja. Este mecanismo de transferencia de calor se produce usualmente en sólidos; sin embargo, también se produce en líquidos a nivel de la capa límite del mismo.

La velocidad de transferencia de calor por medio de la conducción no sólo se ve influenciada por el gradiente de temperaturas entre el medio que calienta y el cuerpo a calentar sino también por el área de transferencia de calor y por el material que constituye el cuerpo. A cada material se le asocia un valor de conductividad térmica que indica si un material es un conductor o un aislante térmico. La conductividad térmica de la madera se encuentra entre 0.1 y 0.15 Kcal/m.h.°C, lo que indica que la madera es un aislante térmico. Esto implica que la velocidad de transferencia de calor en el seno de la madera es lenta, por lo que alarga el tiempo de secado

1.1.2 Convección

Es el mecanismo de transferencia de calor que además de involucrar las colisiones intermoleculares entre los cuerpos, también incluye movimientos macromoleculares en el seno de uno o los dos cuerpos que se transfieren calor. La convección se produce únicamente en fluidos como el agua o el aire.

Existen dos formas de convección: La convección natural y la forzada. La convección natural se da cuando una porción del cuerpo con temperatura baja se calienta más que el resto del cuerpo. Al aumentar la temperatura de esta porción, su densidad disminuye, produciéndose así, un gradiente de densidades dentro del cuerpo, provocando la porción caliente y por ende, menos densa desplaza a la porción más fría y ésta última ocupa el espacio dejado por la porción caliente. Esto induce corrientes dentro del fluido.

La convección forzada se da cuando se emplea energía para mover el fluido. Por ejemplo: cuando se emplean bombas para trasegar líquidos o compresores para impulsar gases. La convección forzada agiliza la transferencia de calor, en especial cuando el régimen del fluido es turbulento. Junto con la convección forzada se produce también la convección natural, sin embargo los efectos de ésta son despreciables comparados con los efectos de la convección forzada.

1.1.3 Radiación

Es el mecanismo de transferencia de calor que se produce entre un cuerpo que al estar muy caliente emite radiaciones electromagnéticas hacia otro cuerpo menos caliente. A diferencia de la conducción y convección en la que se requiere de masa para que se produzca la transferencia de calor, está en la radiación y puede producirse si existe vacío entre ambos cuerpos. La radiación es un fenómeno que siempre está presente en cualquier operación de transferencia de calor pero que se vuelve significativa a temperaturas muy elevadas.

La velocidad de transferencia de calor, por medio de la radiación, depende no solamente de la temperatura de ambos cuerpos sino también del área superficial de ambos cuerpos y del material del cuerpo. Cada cuerpo posee un valor de emisividad propia, siendo los cuerpos más emisivos aquellos

que son más negros, dado que los cuerpos negros absorben y emiten todo el calor que reciben.

1.2 Conceptos fundamentales de secado

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos: 1. Transferencia de calor para evaporar líquido y 2. Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

En las operaciones industriales de secado se utiliza la transferencia de calor por conducción, convección, radiación o una combinación de cualquiera de estos mecanismos.

La masa se transfiere en el secado como: 1. líquido o vapor o como ambos dentro del sólido y 2. como vapor desde las superficies húmedas. El gradiente de concentración del líquido depende del mecanismo de circulación del líquido dentro del sólido.

1.2.1 Mecanismos de circulación de líquido en el sólido durante el secado

El estudio de cómo se seca un sólido puede basarse en el mecanismo interno de la circulación del líquido o en el efecto de las condiciones externas de temperatura, humedad, ventilación, estado de subdivisión, etcétera, sobre la velocidad de secado del sólido.

La circulación interna del líquido se produce por diversos mecanismos, según la estructura del sólido. Algunos de los mecanismos posibles son los siguientes:

- 1) difusión en sólidos homogéneos continuos;
- 2) circulación capilar en sólidos granulares y porosos;
- 3) circulación producida por los gradientes de contracción y depresión,

4) circulación causada por la gravedad, y

5) circulación originada por una sucesión de vaporizaciones y condensaciones. En general, uno de dichos mecanismos predomina en un momento dado en el sólido durante su secado, y no es raro encontrar diferentes mecanismos predominando en distintos momentos durante el secado.

El estudio del secado basado en los efectos de las variables externas, es el método comúnmente empleado para investigar las características del secado de los sólidos. Esto se debe a que los resultados así obtenidos suelen ser directamente aplicables al proyecto y funcionamiento de los secadores. Las principales variables externas en cualquier estudio de secado son: la temperatura, la humedad, la ventilación, el estado de subdivisión del sólido, la agitación del mismo, el método para soportarlo y el contacto entre superficies calientes y el sólido húmedo. No todas estas variables se presentan necesariamente en un mismo problema.

1.2.2. Los períodos de secado

Cuando se seca experimentalmente un sólido, suelen obtenerse datos que relacionan el contenido de humedad al tiempo. Estos datos se transportan después para la curva del contenido de humedad en base seca en función del tiempo. En esta gráfica (ref. a poner) se observa que un sólido húmedo pierde humedad primero por evaporación en algunas de sus superficies con humedad libre, a lo que sigue un período de evaporación desde una superficie con agua libre de área gradualmente decreciente. Finalmente, se evapora el agua del interior del sólido.

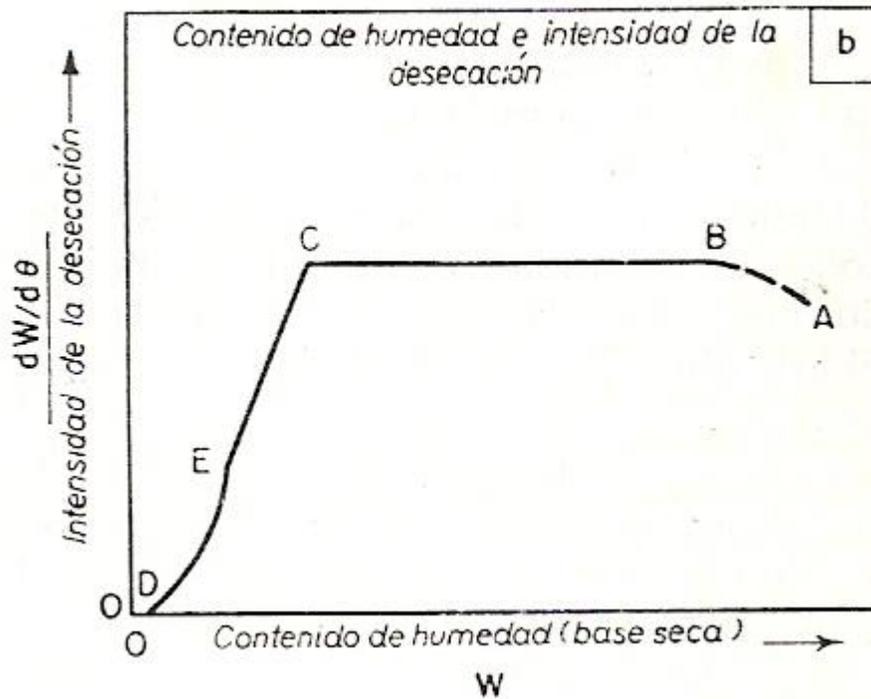
Al graficar la velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca, se observa que el secado no es un proceso continuo y uniforme en el cual domine un solo mecanismo durante todo el proceso. Inicialmente,

cuando la operación de secado está en estado inestable, la velocidad de secado aumenta paulatinamente y predomina la pérdida de humedad por evaporación en las superficies con humedad libre. Una vez la operación de secado alcanza el estado estable, la velocidad de secado se mantiene inicialmente constante. A esta fase se le denomina período de intensidad constante.

Durante este período, el secado se caracteriza por la evaporación de la superficie de agua libre sobre la superficie del sólido. La velocidad de secado la determina la rapidez con que se difunde el vapor de agua a través de la película de aire en la superficie del sólido saliendo de ella y entrando en la masa principal de la corriente de aire. Una vez alcanzado el contenido de humedad en base seca crítico, la velocidad de secado disminuye. El último período suele designarse como de intensidad decreciente. En el caso más general este período se divide en dos zonas:

- 1) zona de desecación no saturada, y
- 2) zona en la cual rige la circulación interna del líquido.

En la primera zona, la disminución de la velocidad de secado se debe a una disminución de la superficie humedecida del material. La superficie no está ya completamente humedecida y porciones secas del sólido sobresalen en la película de aire, reduciendo la intensidad de evaporación por unidad de superficie total. Durante la segunda zona del período de intensidad decreciente, es la intensidad con que circula interiormente el líquido la que decide la velocidad de secado; y en la desecación hasta bajos contenidos de humedad, predomina este período en la determinación del tiempo de secado. La circulación del líquido está regida por los mecanismos de difusión, capilaridad y los gradientes de presión debido a la contracción.



Fuente: MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO PERRY-GREEN 4ta. Ed.

1.2.3 Psicrometría del secado

El secado de un sólido con aire caliente se divide en dos procesos distintos:

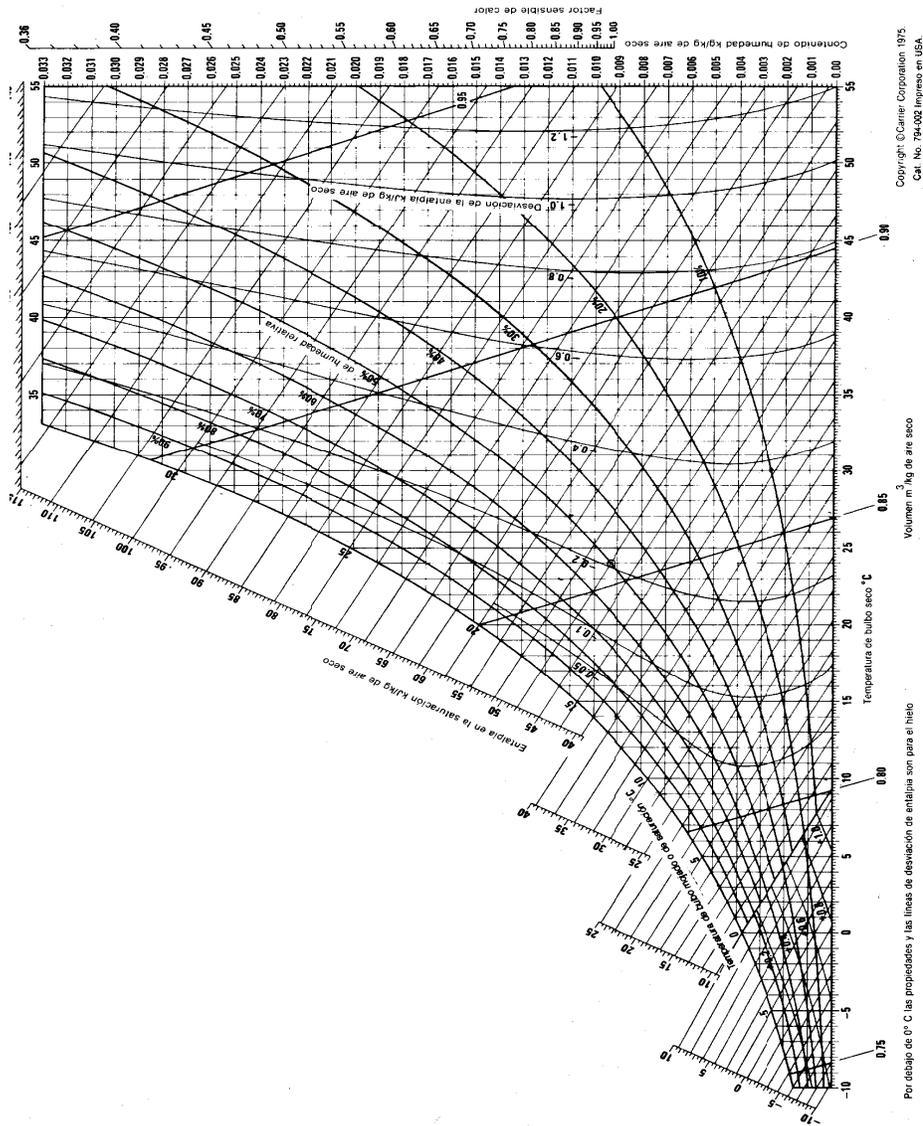
- 1) transferencia de calor para evaporar el agua, y
- 2) eliminación del vapor de agua por la corriente de aire.

Una vez calculado el tiempo del secado y hecho el estudios de los efectos de las variables externas sobre la operación de secado, es necesario calcular el calor a transferir y el flujo de aire necesario. Para realizar estos

cálculos se emplea el diagrama psicrométrico (Figura No.1) en el que se determina la humedad absoluta del aire entrante y del saliente.

Figura No. 1

Diagrama Psicrométrico Aire – Agua a 760 mmHg



Fuente: Felder & Rousseau, *Principios Elementales de los Procesos Químicos*, 3ª Ed.

1.3 Efecto de Invernadero

Es la radiación solar de onda corta que penetra por la cubierta transparente (para el presente caso policarbonato) y calienta la lámina negra absorbadora la cual emite radiaciones de mayor longitud de onda que no pueden atravesar la cubierta transparente de policarbonato y que quedan atrapadas dentro de la cámara.

1.4 Secador Solar Híbrido

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

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA, TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTO

2.1 METODOLOGÍA

Esta metodología está basada en procesos ordenados sujetos a criterios científicos y normas que de manera efectiva, podrán cumplir con los objetivos que se propone para culminar con las respuestas que presenta el objeto de estudio. En este caso, es presentar el diseño completo del secador solar para madera que es el fin de este trabajo.

Esta investigación se desarrollará en tres etapas que son: indagar, demostrar y concluir.

a) Fase indagatoria: implica toda la recolección de información, que viene de la bibliografía existente y opinión de expertos en la materia, para consolidar este trabajo.

b) Fase demostrativa: que representa el análisis de toda la información que se tiene, para arribar a una propuesta final de secador solar.

c) Fase de conclusión, es la culminación de la propuesta de un secador automático de madera que se presentará con análisis de costos de materiales, propuestas de uso, demanda energética y demás.

2.2 TÉCNICAS

El presente trabajo requiere la recopilación de información respecto a la existencia de diferentes materiales en el mercado para optimizar dimensiones en el secador y los costos que requerirá el presente proyecto.

La opinión de expertos es un recurso de mucha validez, porque se tomó en cuenta a profesionales de renombrada jerarquía en cada una de las disciplinas que se requieren para aplicar a la tecnología de esta naturaleza.

2.3 PROCEDIMIENTO

Se estructuró una secuencia ordenada con los procedimientos siguientes:

- Se hizo un diseño base del secador solar de madera.
- Consulta bibliográfica sobre fuentes alternas de energía.
- Opinión de expertos, sobre temas de ingeniería, relacionadas con intercambio de calor, electrónica industrial, radiación solar, etcétera.
- Listado de materiales que sirven para la realización del proyecto propuesto.
- Propuesta final del diseño del secador solar, con las demandas energéticas que requiere este tipo de tecnología.
- Elaborar el proyecto final, que implica la elección de materiales, equipos, mano de obra necesaria y el correspondiente cronograma de actividades.

CAPÍTULO 3

CÁLCULO DE LA ENERGÍA APORTADA POR EL SOL

El diseño del secador está basado en experiencias desarrolladas por el Instituto Centro Americano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), así como de Proyectos que han tenido aceptación en el área del Caribe.

La eficiencia de este secador, se debe a que estará construido con materiales que tienen relativamente poco tiempo de haber salido al mercado, como lo es el policarbonato para la cubierta superior, que transforma la energía lumínica del sol en energía calorífica que es la base del efecto invernadero. Para el forro externo, se usarán paneles de Durok en ambos lados de la estructura metálica, garantizando un aislamiento interno sobre las condiciones ambientales externas.

Este secador, por ser híbrido utilizará también para su funcionamiento, un deshumidificador que permitirá cuando exista mucha nubosidad y poca radiación solar, que éste funcione automáticamente si el sensor de humedad relativa así lo requiere.

A continuación, se presenta el cálculo sobre el aprovechamiento de la energía del sol para secar madera de pino, de una manera eficiente.

Cálculo del tiempo de residencia de la madera de 1"x12"x16' (16 pies tabla) en el secador

3.1 Área de exposición

$$A = d_1 * d_3 \quad (1)$$

Donde:

A: área de exposición (m²)

d₁: frente de secador (m)

d_3 : largo de secador (m)

El área de exposición del secador es:

$$A = 2.46m * 6m$$

$$\boxed{A = 14.76m^2}$$

3.2 Volumen interno del secador

$$V = d_1 * d_2 * d_3 \quad (2)$$

Donde:

V : volumen interno del secador (m^3)

d_2 : altura del secador (m)

El volumen interno del secador es:

$$V = 2.46m * 2.5m * 6m$$

$$\boxed{V = 36.9m^3}$$

3.3 Volumen ocupado por la madera

$$v = l * e * a * u \quad (3)$$

Donde:

- v : volumen ocupado por la madera (m^3)
- l : largo de una tabla de madera (m)
- e : espesor de una tabla de madera (m)
- a : ancho de una tabla de madera (m)
- u : unidades de tablas de madera a secar (adimensional)

El volumen ocupado por la madera es:

$$v = 0.0254m * 0.3048m * 4.8768m * 155$$

$$\boxed{v = 5.852m^3}$$

3.4 Densidad de la madera húmeda

$$\rho_h = \rho_m(1 + h) \quad (4)$$

Donde:

ρ_h : densidad de la madera con humedad "h" ($Kg.m^{-3}$)

ρ_m : densidad de la madera seca ($Kg.m^{-3}$)

h : fracción de humedad de la madera (adimensional)

La densidad de la madera con 40% de humedad es

$$\rho_{0.4} = 600 \frac{Kg}{m^3} (1 + 0.4)$$

$$\boxed{\rho_{0.4} = 840 \frac{Kg}{m^3}}$$

3.5 Agua removida por metro cúbico de madera

$$M_w = \rho_{h,0} - \rho_{h,f} \quad (5)$$

Donde

M_w : masa de agua removida por metro cúbico de madera (Kg agua/m³ madera)

$\rho_{h,0}$: densidad inicial de madera (Kg.m⁻³)

$\rho_{h,f}$: densidad final de madera (Kg.m⁻³)

El agua removida por metro cúbico es:

$$M_w = 840 \frac{Kg}{m^3} - 660 \frac{Kg}{m^3}$$

$$M_w = 192 \frac{Kg \text{ agua}}{m^3 \text{ madera}}$$

3.6 Agua removida total

$$M_{w,t} = M_w * v \quad (6)$$

Donde:

$M_{w,t}$: masa de agua removida total (Kg)

v : volumen ocupado por la madera (m³)

El agua removida total es:

$$M_{w,t} = 192 \frac{Kg \text{ agua}}{m^3 \text{ madera}} * 5.852 m^3$$

$$M_{w,t} = 1,124 kg \text{ agua}$$

3.7 Calor específico de la madera húmeda

$$Cp_{m,h} = X_w * Cp_w + (1 - X_w)Cp_m$$

Donde:

$Cp_{m,h}$: calor específico de la madera húmeda (KJ.Kg⁻¹.°C⁻¹)

Cp_w : calor específico del agua (KJ.Kg⁻¹.°C⁻¹)

Cp_m : calor específico de la madera seca (KJ.Kg⁻¹.°C⁻¹)

X_w : fracción de agua en la madera húmeda (Kg agua/Kg total)

El calor específico de la madera húmeda es:

$$Cp_{m,h} = 0.4 * 4.18 \frac{KJ}{^{\circ}C * Kg} + (1 - 0.4) * 1.38 \frac{KJ}{^{\circ}C * Kg}$$

$$Cp_{m,h} = 2.50 \frac{KJ}{^{\circ}C * Kg}$$

3.8 Entalpía y humedad absoluta del aire

Se empleó un diagrama psicrométrico aire-agua, donde a partir de los datos de temperatura de bulbo seco y la humedad relativa del aire que entra y sale se leen los valores de entalpía y de humedad absoluta.

3.9 Humedad absorbida por kilogramo de aire seco

$$W = h_f - h_0(8)$$

Donde:

W : humedad absorbida (Kg agua/kg aire seco)

h_f : humedad absoluta en la salida del secador (Kg agua/kg aire seco)

h_0 : humedad absoluta en la entrada del secador (Kg agua/kg aire seco)

La humedad absorbida es:

$$W = 0.007 \frac{Kg \text{ agua}}{Kg \text{ aire seco}} - 0.003 \frac{Kg \text{ agua}}{Kg \text{ aire seco}}$$

$$W = 0.004 \frac{Kg \text{ agua}}{Kg \text{ aire seco}}$$

3.10 Consumo de aire

$$G = \frac{M_{w,t}}{W} (9)$$

Donde:

G : cantidad de aire requerida para secado (Kg)

$M_{w,t}$: cantidad de agua removida (Kg)

El aire requerido es:

$$G = \frac{1124 \text{Kg}}{0.004 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}}$$

$$\boxed{G = 280,903.12 \text{Kg}}$$

3.11 Calor suministrado para calentar madera

$$Q_m = \rho_h * v * Cp_{m,h}(T_f - T_0) \quad (10)$$

Donde:

Q_m : calor suministrado para calentar madera (KJ)

ρ_h : densidad de la madera con humedad "h" (Kg.m⁻³)

v : volumen ocupado por la madera (m³)

$Cp_{m,h}$: calor específico de la madera húmeda (KJ.Kg⁻¹.°C⁻¹)

T_0 : temperatura inicial de madera (°C)

T_f : temperatura final de madera (°C)

El calor suministrado para calentar la madera es:

$$Q_m = 840 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 5.852 \text{m}^3 * 2.50 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{C} * \text{Kg}} * (30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$\boxed{Q_m = 123,016 \text{KJ}}$$

3.12 Calor suministrado para la transferencia de masa

$$Q_{TDM} = G(H_f - H_o) \quad (11)$$

Donde:

Q_{TDM} : calor necesario para la transferencia de masa (KJ)

G : cantidad de aire requerida para secado (Kg)

H_f : entalpía de salida de aire (KJ.Kg^{-1})

H_o : entalpía de entrada de aire (KJ.Kg^{-1})

El calor suministrado para la transferencia de masa es:

$$Q_{TDM} = 280903.12 \text{Kg} \left(28 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 10 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

$$\boxed{Q_{TDM} = 5,056,256 \text{KJ}}$$

3.13 Pérdidas de calor por convección

$$Q_p = (Q_m + Q_{TDM}) * f_p \quad (12)$$

Donde:

Q_p : calor perdido por convección (KJ)

Q_m : calor suministrado para calentar madera (KJ)

Q_{TDM} : calor necesario para la transferencia de masa (KJ)

f_p : factor de perdidas (adimensional)

El calor perdido por convección es:

$$Q_p = (123,016 + 5,056,256) * 0.02$$

$$\boxed{Q_p = 103,505KJ}$$

3.14 Calor total requerido para el secado

$$Q_T = Q_m + Q_{TDM} + Q_p \quad (13)$$

Donde:

Q_T : calor total requerido (KJ)

El calor total requerido es:

$$Q_T = 123,016 + 5,056,256 + 103,505$$

$$\boxed{Q_T = 5,282,587KJ}$$

3.15 Tiempo de secado neto

$$t = \frac{Q_T}{WWR * A} \quad (14)$$

Donde:

t : tiempo de secado (h)

WWR : tasa de radiación solar mundial ($KJ.m^{-2}.h^{-1}$)

A : área de exposición de (m^2)

El tiempo de secado es:

$$t = \frac{5,282,587KJ}{4921.2 \frac{KJ}{h.m^2} * 5.852m^2}$$

$$\boxed{t = 73 h}$$

3.16 Tiempo de secado real

$$\theta = \frac{t}{t_s} (15)$$

Donde:

θ : tiempo real de secado (día)

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

El tiempo real de secado es:

$$\theta = \frac{73h}{10 \frac{h}{día}}$$
$$\boxed{\theta = 7.3 \text{ día}}$$

Para piezas de madera de pino de 2"x 4"x 16' (10.67 pie-tabla), el tiempo real de secado es de **10.3 días**.

El cálculo anterior sólo toma en cuenta el aporte energético del sol. Sin embargo, como el secador es híbrido también se requiere del uso de energía eléctrica que se obtiene de la red de distribución, por lo que el tiempo real de secado se puede disminuir. Además, esta energía se usará para el funcionamiento del deshumidificador, iluminación, fuerza, accesorios como son ventiladores y todos los componentes del sistema de automatización.

El total de la energía que se demandará del sistema eléctrico nos da un máximo mensual de 6KW en pleno uso.

Haciendo una comparación entre un sistema convencional de secado y la propuesta que se presenta en esta tesis se puede puntualizar lo siguiente:

El costo de la unidad de secado es de Q 70,000.00 y tiene un consumo de 8.8 KW/h en pleno uso, mientras que la energía aportada por el sol es totalmente gratuita y el consumo de la energía eléctrica que se necesita para el funcionamiento del secador solar es de apenas 6 KW/mes.

CAPÍTULO 4

FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DEL SECADOR SOLAR ^(1*)

El secador solar estará ubicado en el área perteneciente a la sección de tecnología de materiales del Centro de Investigaciones de Ingeniería, donde se encuentra el Instituto de la Madera. Esto se puede apreciar en los planos de localización y ubicación (págs. 50,51), así como en las fotografías que aparecen en el anexo de este estudio (págs. 52). Para el proyecto, es de mucho beneficio esta ubicación, porque coadyuvará a la implementación de proyectos de estudio sobre madera, que estén dentro de los planes de investigación, docencia y servicio del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII). El área en sí, es abierta y tiene la ventaja que el aprovechamiento de la energía emanada por el sol, va a ser aprovechada en su totalidad por el secador solar de madera.

4.1 FUNCIONAMIENTO ^(1*)

El funcionamiento del secador solar se basa en tres procesos que se superponen:

El calentamiento de aire del secador solar se realiza mediante la circulación del aire a través de una cámara de calentamiento formada por una cubierta de policarbonato celular transparente y una superficie captadora hecha de lámina de acero acanalada de color negro, que en conjunto forman un cuerpo o cámara de absorción de la radiación solar que entra por la cubierta, con intenso efecto invernadero. Al inicio del proceso una masa de aire con humedad relativa ambiental se hace entrar a una cámara de secado con

(1*) ver planos de localización y ubicación, y fotografías en anexos

paredes térmicamente aisladas, y su humedad relativa disminuye rápidamente al hacerse circular a través de la cámara superior de calentamiento.

- El secado del material (colocado en carros portadores a lo largo de la cámara de secado, ubicado debajo y a lo largo de la cámara de calentamiento) se realiza por el paso continuo del aire caliente a través del material, que produce un intenso proceso de intercambio de calor y masa, durante el cual la humedad superficial del material se incorpora al aire por evaporación, en la medida en que el aire transfiere su calor.
- La sucesiva recirculación a una velocidad definida, impulsado por un ventilador centrífugo, a través de la madera que se debe secar, hará que a medida que la humedad relativa del producto disminuya la del aire aumente, llegando a un punto en el que será necesario renovar este aire para restablecer el gradiente de humedad entre ambas masas y asegurar la continuidad del proceso. La renovación se asegura mediante un dispositivo de control de la humedad del aire que acciona el arranque o parada de los ventiladores, la abertura o cierre de las ventanas de extracción de aire así como la de los ductos de ingreso de aire nuevo exterior para precalentarlo, para nuevamente establecer el proceso que en la práctica es ininterrumpido. La difusión continua de la humedad interior de la madera hacia la superficie por capilaridad asegura que a final de un ciclo completo la humedad relativa de toda la masa del material habrá disminuido de modo homogéneo hasta los valores aceptables para su empleo comercial.

El secado quedará completo cuando el producto alcance la baja humedad preestablecida según las exigencias comerciales o de uso (humedad de equilibrio), y que se controla por medios directos (dispositivo de medición de

humedad insertado en la madera) o indirectos (muestras testigos de material en métodos de laboratorios apropiados).

El prototipo propuesto tiene las características de funcionar con energía solar y con un deshumidificador. Esto se hace con el fin de hacer comparaciones entre un método y otro para enriquecer proyectos de investigación, docencia y servicio. O sea que si se requiere, el secador podrá ser operado utilizando al unísono la energía del sol y el deshumidificador. Por otro lado, por la noche también será posible cuantificar la pérdida de humedad en la madera si el proyecto en estudio lo demanda.

4.2 CARACTERÍSTICAS ^(1*)

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE GEOMETRÍA, MATERIALES Y EQUIPO

4.2.1.1 GEOMETRÍA ^(1*)

El secador solar híbrido tiene 2.44 m de frente por 6 m de fondo por 3.18 m de altura y un volumen de 36.9m³ de los cuales el volumen interno disponible para secar la madera es de 18m³.

La cantidad de madera que se puede usar dentro de este volumen es el siguiente:

- para tablas de pino de 1" X 12" X16', da un total de 155 unidades

igual a 2480 pie-tabla, que nos da un total de 442.2 m² de área neta expuesta al secado.

- Para piezas de pino de 2" X 4" X 16' da un total de 330 unidades, equivalente a 3520 pie-tabla. Con un área neta expuesta a secado

(1*) ver planos en anexos

igual 308.54 m².

Los resultados anteriores del área neta expuesta toma en cuenta el área ocupada por los polines que son los separadores que se ubican entre cada fila de madera a secar.

4.2.1.2 MATERIALES Y EQUIPO ^(1*)

El secador estará construido sobre una losa de concreto armado de 10 cm de espesor que aislará a éste de la humedad que pueda filtrarse del suelo.

La estructura del secador estará hecha de tubo cuadrado estructural de 2", chapa 16 y será muy segura a la acción del viento y posibles sismos.

En el área superior del secador y a 14 grados (por nuestra latitud) estará ubicada la cubierta transparente que es de policarbonato transparente de 3mm de espesor ésta es la encargada de generar el efecto invernadero dentro del secador que es la fuente principal de generación de energía calorífica al permitir pasar la radiación de onda corta a través de si misma y ésta al rebotar en la lámina absorbadora, la convierte en una radiación de onda larga la que ya no puede salir al ambiente, quedándose rebotando dentro del sistema. (similar a lo que sucede con los vehículos que están expuestos al sol).

Los accesorios con que debe contar este secador son los siguientes:

- Un deshumidificador de 1 Hp para extraer la humedad del ambiente cuando sea necesario.
- 3 ventiladores de $\frac{3}{4}$ Hp para mantener el flujo laminar de aire a través del área expuesta de la madera.
- 4 ventanas abatibles para la expulsión de aire húmedo y 4 válvulas de cierre que permitirán el ingreso de aire seco.

(1*) ver planos en anexos

Para el forro externo del secador se tiene planificado usar planchas de Durock que son aislantes del ambiente y las paredes y puertas estarán forradas externa e internamente con este material.

En principio se planificó usar un material llamado Superwall pero éste, siendo un material excelente tiene el inconveniente de que su costo es muy elevado (aproximadamente US \$ 50.00 m²).

4.2.1.3 COSTOS

Al proyecto se le dio un tratamiento de equipo de laboratorio, que requiere de materiales de primera calidad, de servicio industrial y larga vida útil. Cada uno de los rubros está calculado con precios de materiales y equipo del mes de marzo de 2009. (US \$1.00= Q. 8.00).

El desglose de los rubros se encuentra en Anexos.

4.2.1.3.1 ANÁLISIS DE COSTOS

Este tema estará dividido en varios rubros como son: los materiales necesarios para la construcción del secador, los honorarios de los profesionales que intervendrán en el diseño y construcción del prototipo del secador y la mano de obra del constructor que en este caso, representa a los técnicos que realizarán el secador solar.

Los costos de los materiales, se integran bajo el siguiente listado:

- ❖ Estructura metálica, que implica todas las piezas de metal que constituyen este secador como son: perfiles, bisagras, láminas, tornillos, brocas, sierras, etcétera.
- ❖ Cubierta transparente, que está constituida de láminas de policarbonato o vidrio.

- ❖ Cimiento, que está constituido por un cimiento corrido, una losa de concreto, y una banqueta perimetral para proteger la estructura del ambiente externo.
- ❖ Accesorios, en esto se tomará en cuenta el deshumidificador, ventiladores de aire, ductos metálicos, ventanas de doble vidrio, válvulas de cierre, etcétera.
- ❖ Automatización, en este punto se listan todos los sensores, contactores, relés, controladores digitales, pico/logo, etc.
- ❖ Carretón para ingreso y egreso de madera al secador solar.
- ❖ Iluminación interna y externa, más circuitos de fuerza.

4.2.1.4 AUTOMATIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ^(3*)

La automatización es de mucha importancia, porque, con este sistema la eficiencia, el tiempo de residencia de la madera en el secador y la demanda de energía eléctrica convencional serán óptimos y esto es debido al sistema que estará bajo la dirección de un sensor de humedad relativa, que cuando este valor sea muy alto accionará los diferentes componentes eléctricos (ventanas, ventiladores y válvulas de admisión) y equipo (deshumidificador) y caso contrario, cuando el valor de la humedad relativa sea muy bajo sólo estará funcionando un flujo laminar de aire producido por los ventiladores, que arrastrarán la humedad superficial de la madera. A continuación, se detalla los componentes del proceso de automatización de secado de la madera. (Ver planos adjuntos al final de este capítulo)

La automatización que se describe a continuación requiere de

(3*) ver planos en anexos

servomecanismos, accionados por microchips que son estimulados por un sensor de humedad relativa que accionará automáticamente la entrada, salida del aire, los ventiladores así como el deshumidificador.

4.2.1.4.1 SISTEMA DE CONTROL PARA EL CUARTO DE SECADO

El control se lleva a cabo con la señal de un sensor de humedad, este sensor genera una salida que es tomada por un mini PLC, además de la señal del sensor también se cuenta con las señales de los interruptores límites que están situados en las ventanas, los cuales indican estado de abiertas o cerradas.

Estas señales serán de utilidad para saber en cada momento en qué estado se encuentra el sistema, ahora vamos a definir como uno una señal activa y como cero, una señal no activa.

Sí por ejemplo la señales son 0,0 esto indica que no hay humedad suficiente y las ventanas están cerradas, si tenemos un 0,1 no hay humedad suficiente, y además las ventanas están abiertas, la siguiente tabla lo ilustra.

# estado	Señales de control		Estado del sistema	Salidas del controlador señal temporizada
	humedad	ventanas		
0	0	0	Sin humedad y con ventanas cerradas	0
1	0	1	Sin humedad y con ventanas abiertas	0
2	1	0	humedad y ventanas cerradas	1
3	1	1	humedad y ventanas abiertas	0

- **Estado # 0:** Se da cuando las ventanas están cerradas, los ventiladores están apagados, y además no hay suficiente humedad para que se dé inicio al sistema.
- **Estado #1:** es cuando los ventiladores están funcionando y las ventanas están abiertas pero ya descendió el nivel de humedad y ya no es necesario que el sistema continúe trabajando.
- **Estado #2:** las ventanas están cerradas, los ventiladores no funcionan y hay humedad en el ambiente suficiente para iniciar el funcionamiento del sistema.
- **Estado #3:** los ventiladores están funcionando las ventanas están abiertas y hay humedad en el ambiente.
- Salida temporizada: esta salida inicia el sistema cuando está apagado con una señal activa, y apaga el sistema cuando está funcionando con una señal activa, esta salida tiene un tiempo igual al necesario para la apertura de las ventanas.

Sólo queda mencionar que los ventiladores no serán accionados directamente por el PLC, si no que se utilizan los interruptores límites colocados en las ventanas, de forma que primero se abren las ventanas, inmediatamente después arrancan los ventiladores.

CONCLUSIONES

1. Los proyectos académicos, de investigación y de servicio, que son muchos dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que tienen como temática: el uso, la transformación, pruebas de laboratorio en madera, etcétera, se fortalecerán al contar con un equipo de esta naturaleza porque la madera en sus distintas especies, requiere de distintos procesos de secado y esto es obvio, porque su estructura interna define las propiedades mecánicas, físicas y químicas de cada una de éstas, y estos valores son particulares y totalmente diferentes entre cada una de las especies a estudiar.
2. El secador solar híbrido propuesto en este trabajo de tesis, es susceptible de mayor perfeccionamiento, en función de que en el mercado guatemalteco se puedan adquirir mejores materiales para su construcción.
3. El secador solar cuando esté en operación, servirá de guía para personas y/o instituciones que estén interesadas en aprovechar la energía solar, utilizando esta tecnología enfocada al secado de la madera.

4. El diseño del secador solar está orientado a proyectarse a comunidades del área rural que se dedican a la transformación de la madera y puede funcionar con energía solar o híbridamente. Quiere decir que puede funcionar solo con energía solar o únicamente con el deshumidificador o con la combinación de ambos sistemas de secado. Esta versatilidad permitirá tener una amplia gama de procesos de secado para optimizar el tiempo de residencia de diferentes especies de madera, sometida a diferentes procesos de secado.
5. El secador solar, en su diseño, tiene tratamiento de equipo de laboratorio y su eficiencia está garantizada porque los materiales y el equipo que se cotizó para su diseño son de calidad industrial, de servicio pesado, que tienen una vida útil mínima de 10 años.
6. Tomando en cuenta la energía que provee el sol, con 10 horas de insolación diaria, los cálculos nos dan un tiempo de residencia de la madera dentro del secador, para las tablas de 1"X12"X16' igual a 7.3 días y para las piezas de 2"X4"X16' igual a 10.3 días. El tiempo se reduce a la mitad si el secador funciona híbridamente o sea que su operación es complementada con la acción del deshumidificador.
7. El volumen útil del secador solar es de 15.24 m^3 y permite secar:
155 tablas de 1"X 12"X16', con un área neta expuesta igual a 444 m^2 o
330 piezas de 2"X4"X16' con un área neta expuesta igual a 308.54 m^2 .
8. En el diseño del secador solar híbrido propuesto en este trabajo de tesis participó un equipo multidisciplinario de profesionales de las diferentes carreras de la ingeniería como son la ingeniería civil, la ingeniería

mecánica, la ingeniería electrónica, la ingeniería química y la ingeniería electricista. En efecto, el diseño es del autor pero para consolidar la propuesta final fue necesario contar con el concurso de varios ingenieros que dieron su valioso aporte sin ningún tipo de interés y por el contrario el tema tratado les pareció de mucha importancia para ser implementado, también, en comunidades que se dedican a transformar la madera.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar políticas de asistencia tecnológica y de diseminación de este tipo de tecnología, de manera que permitan una mejor y más rápida asimilación de uso de los secadores solares-híbridos para madera y a la vez se contribuya a elevar el nivel técnico cultural de los usuarios y sus comunidades.
2. Impulsar el seguimiento sobre el estudio e investigación de secadores Solares híbridos por medio de la búsqueda de recursos intelectuales y financieros, ya sean nacionales o extranjeros, que den como resultado secadores de mucha eficiencia, que sean fáciles de replicar y de transportar a sitios de ubicación apropiados, previamente elegidos.
3. Una vez construido el prototipo, es necesario emprender campañas de promoción de esta tecnología, en conjunto con instituciones de diferente naturaleza, que tengan dentro de sus prioridades el impulsar la industria de la transformación de la madera, principalmente a industriales y artesanos que puedan beneficiarse con el aprovechamiento de esta tecnología.
4. Implementar programas docentes de capacitación en consultorías para la difusión y construcción de secadores solares híbridos, para que el personal encargado esté más tecnificado en fabricar, en plazos más breves, mejores unidades y con mayor garantía.

5. Enfocar, prioritariamente la investigación de secadores solares-híbridos para madera en bajar los costos, mejorar la tecnología, manteniendo una alta eficiencia de operación, al punto que esta sea atractiva a los usuarios.

6. La educación universitaria hoy en día es vinculante y esta característica debe plasmarse en la pensión de estudios de todas carreras de la Facultad de Ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). **Secado de Madera.** Proyecto de leña y fuentes alternas de energía. ICAITI-ROCAP. 1986.
2. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). **Secado de Madera Aserrada.** Informe Técnico. Proyecto de Leña y fuentes alternas de energía. ICAITI-ROCAP-AID- 1980-1987.
3. Francisco Arriaga Martitegui (Dr. Arquitecto). **Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho.** Madrid, España. 2003.
4. Jaime Valladares L. (Dr. En Química Industrial) instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) **Guía para el Secado de Madera en Hornos.** Manual Técnico, ROCAP, 1989.
5. Edwin Bracamonte O. (Ing. Industrial) **Mapa Solar de Guatemala.** Centro de Investigaciones de Ingeniería. Artículo 1990.
6. James Mathewson (Engineer) High-Temperature Drying: **Its Application to the Drying of Lumber.** Forest Products Research Society. Article 1954.
7. E.C. Deck “Ney Look” in Air-Drying Lumber Yard. US Department of Agriculture. Technical Article. 1994.

8. José María Saravia M. (Ing. Agrónomo), Pablo Christian De León Rodríguez (Ing. Civil), Et. Al. **“Estudio Tecnológico Integral de la Madera y Corteza del primer raleo de cuatro especies de pino, cultivadas con fines industriales”**. Proyecto CONCYT 03-03, Línea Fodecyt. 2005.
9. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) **9ª. Comunicación Nacional sobre cambio climático. Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en Inglés)** Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Artgrafic. 2001.
10. Ministerio de Energía y Minas (MEM) **Política Energética y Minera, 2008-2015**. MEM-PRONACOM, octubre 2007.
11. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) **Guía para el uso del Sistema Internacional de Unidades (Norma Centroamericana ICAITI 4010)**. División de Normalización ICAITI.
12. Dr. Hugo Arriaza **Diagnóstico del Sector Energético Del Área Rural de Guatemala**. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), abril 2005

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

13. [www.italab.org/desarrollo/documentos/fichas tecnologicas/ficha73.htm-24k](http://www.italab.org/desarrollo/documentos/fichas_tecnologicas/ficha73.htm-24k)
Secador solar para madera
14. www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/energia30/HTML/articulo02.htm
Familia de secadores solares
15. <http://infomadera.logspu.com/2004/04/diseño-y-ensayo-de-un-secador-solar.para.html>
Diseño de un secador solar para Madera.
16. www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/ecosolar03/html/articulo01.html
Método gráfico para el diseño de secadores solares
17. Cbi.izt.uam.mx/lph/archivos_profesionales/ru/archivos41197.pdf
Manual de construcción y operación de una secadora solar
18. www.inecol.edu.mx/mby/resumeness/3.2/pdf/martnez%201997
Pre-diseño y ensayo de un secador solar para madera

19. www.fao.org/infho/content/documents/vlibrary/new.else/x569450.4.htm

Tecnologías mejoradas de secado

20. <http://www.authorstream.com/presentation/fedex-76261-secadero-solar-inge-taboada-c-mara-de-secado-maderas-utilizando-energ-a-fecha-inciacion-technology-ppt-powerpoint/>

Diseño de un secador solar para Madera.

ANEXOS

**INTEGRACION DE COSTO DE SECADOR PARA MADERA
HIBRIDO CON VENTILACIÓN FORZADA**

No. Renglón	Descripcion	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Total	Total de Renglón
1 ESTRUCTURA METALICA PARA SECADOR						
1.1	Estructura metalica (Tubo de 2" x 2" Chapa 16)	unidad	36.00	Q 235.24	Q 8,468.64	
1.2	Bisagras de cartucho	unidad	6.00	Q 10.00	Q 60.00	
1.3	Chapa	unidad	1.00	Q 300.00	Q 300.00	
1.4	Pintura de aceite color: Negro Mate	galón	3.00	Q 150.00	Q 450.00	
1.5	Solvente Mineral	galón	3.00	Q 70.00	Q 210.00	
1.6	Brochas de 2"	unidad	6.00	Q 10.00	Q 60.00	
1.7	Pliegos de Lija	unidad	15.00	Q 8.00	Q 120.00	
1.8	Electrodo punto gris	libra	100.00	Q 15.00	Q 1,500.00	
1.9	Angular de 1/8" x 2" x 2" (marco puertas)	unidad	2.00	Q 240.00	Q 480.00	
1.10	Hierro liso de 1/2" (pasadores)	unidad	3.00	Q 92.60	Q 277.80	
1.11	Lamina lisa de 3/64" x 4' x 8' (panel ventiladores)	unidad	5.00	Q 416.41	Q 2,082.05	
1.12	Lamina acanalada Calibre 28 (captador calor)	unidad	7.00	Q 94.50	Q 661.50	
1.13	Tornillos poltzer de 1/4" x 1"	unidad	100.00	Q 0.50	Q 50.00	
1.14	Juego de brocas diferentes diametros	unidad	1.00	Q 300.00	Q 300.00	
SUBTOTAL RENGLON No. 1						Q 15,019.99
2 CUBIERTA TRANSPARENTE						
2.1	Lamina de polycarbonato lisa transparente de 3mm x 4' x 8'	unidad	5.00	Q 1,150.00	Q 5,750.00	
2.2	Tubos de silicón transparente	unidad	6.00	Q 30.00	Q 180.00	
2.3	Tornillos busca rosca	unidad	100.00	Q 0.25	Q 25.00	
SUBTOTAL RENGLON No. 2						Q 5,955.00
3 CIMENTACIÓN (5 m3 Concreto)						
3.1	Sacos de Cemento	unidad	50.00	Q 60.00	Q 3,000.00	
3.2	Piedrín de 3/4"	m3	4.00	Q 250.00	Q 1,000.00	
3.3	Arena de rio	m3	2.5	Q 150.00	Q 375.00	
3.4	Hierro de 3/8" corrugado	quintal	4.00	Q 600.00	Q 2,400.00	
3.5	Hierro de 1/4" liso	quintal	2.00	Q 600.00	Q 1,200.00	
3.6	Alambre de Amarre	libra	20.00	Q 10.00	Q 200.00	
3.7	Electromalla de 6" x 6" No. 7/7	unidad	2.00	Q 350.00	Q 700.00	
SUBTOTAL RENGLON No. 3						Q 8,875.00
4 ACCESORIOS						
4.1	Deshumidificador	unidad	1.00	Q 6,000.00	Q 6,000.00	
4.2	Ductos metalicos cuadrados de 4" x 4" x 12" x 12" con valvula de cierre de lamina galvanizada calibre 24	unidad	4.00	Q 1,000.00	Q 4,000.00	
4.3	Ventanas abatibles de doble vidrio con empaque de cierre de 0.27m x 0.50 m	unidad	4.00	Q 600.00	Q 2,400.00	
4.4	Ventiladores 3/4 HP 110/220 voltios y 1750 rpm 3150 pies /minuto	unidad	3.00	Q 4,450.00	Q 13,350.00	
SUBTOTAL RENGLON No. 4						Q 25,750.00

No. renglon	Descripcion	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Total	Total de Renglón
-------------	-------------	-------	----------	-----------------	-------	------------------

5 FORRO EXTERNO

5.1	Planchas de tabla roca de 4' x 8'	unidad	32.00	Q 240.00	Q 7,680.00
5.2	Tornillos con punta de broca de 1"	unidad	1000.00	Q 0.25	Q 250.00
5.3	Revestimiento para exterior	m2	92.16	Q 30.00	Q 2,764.80

SUBTOTAL RENGLON No. 5 **Q 10,694.80**

6 AUTOMATIZACIÓN

6.1	Sensor de humedad relativa	unidad	1.00	Q 1,500.00	Q 1,500.00
6.2	Gabinete compacto 6" x 8" x 12"	unidad	1.00	Q 500.00	Q 500.00
6.3	Controlador digital pico / logo	unidad	1.00	Q 2,500.00	Q 2,500.00
6.4	Contactores 9a. 120V 9p.	unidad	3.00	Q 350.00	Q 1,050.00
6.5	Riel simetico 35mm	unidad	1.00	Q 45.00	Q 45.00
6.6	Bornes	unidad	11.00	Q 7.00	Q 77.00
6.7	Reles sobre carga	unidad	3.00	Q 400.00	Q 1,200.00
6.8	Cable TSJ 4 x 12	ml	60.00	Q 19.00	Q 1,140.00
6.9	Mano de Obra automatización	global	1.00	Q 10,000.00	Q 10,000.00
6.10	Instalación Mecanica (tomo, material y mano de obra)	global	1.00	Q 6,000.00	Q 6,000.00

SUBTOTAL RENGLON No. 6 **Q 24,012.00**

7 CARRETON PARA INGRESO MADERA A SECAR

7.1	Carretones de lamina labrada de 1/2" x 3' x 14', con estructura de tubo diametro 2" chapa 14, de 6 ruedas de 8" cada una (de 2000# de capacidad de carga C/U)	unidad	2.00	Q 12,400.00	Q 24,800.00
7.2	Angulares de 1/4" x 2" x 20'	unidad	2.00	Q 412.15	Q 824.30

SUBTOTAL RENGLON No. 7 **Q 25,624.30**

8 ILUMINACIÓN Y FUERZA (INTERNA - EXTERNA)

8.1	Instalaciones Electricas: Iluminación y fuerza	global	1.00	Q 4,500.00	Q 4,500.00
-----	--	--------	------	------------	------------

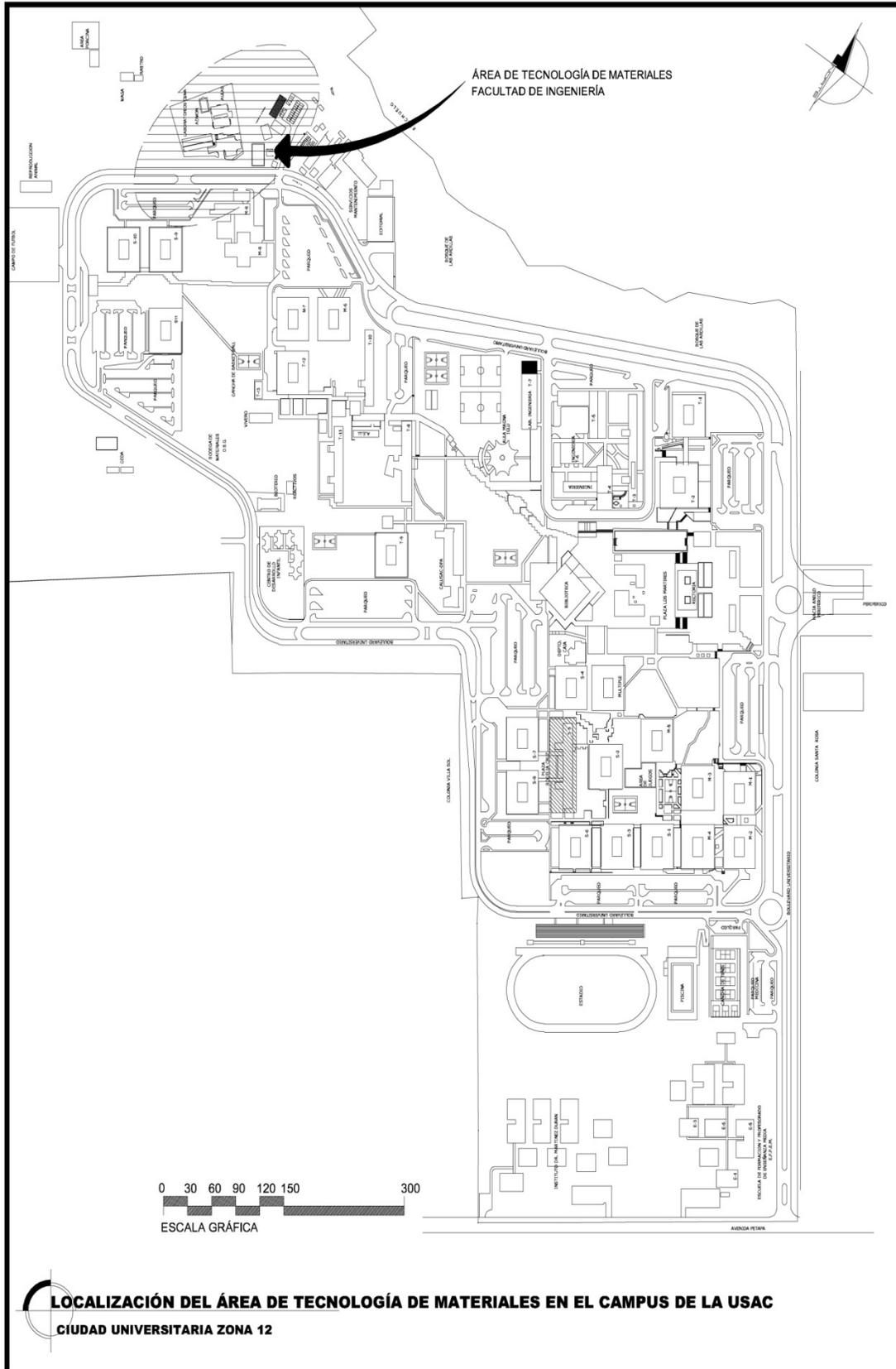
SUBTOTAL RENGLON No. 8 **Q 4,500.00**

SUMATORIA DE TOTALES DE REGLONES **Q 120,431.09** **Q 120,431.09**

MANO DE OBRA DE MONTAJE DE SECADOR SOLAR **Q 42,150.88**

IMPREVISTOS (15%) **Q 24,387.30**

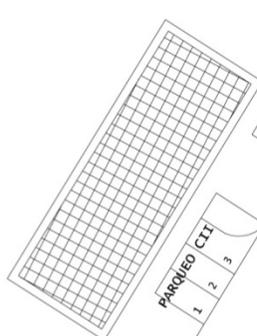
GRAN TOTAL **Q 186,969.27**



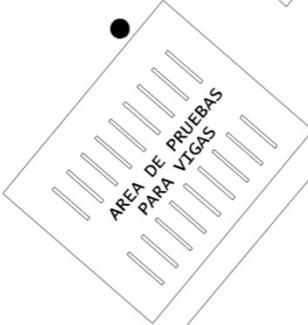
ÁREA DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA



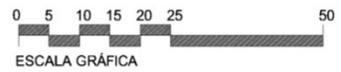
TERRENOS DE VETERINARIA



UBICACIÓN SECADOR SOLAR
HÍBRIDO PARA MADERA



BOULEVARD U.S.A.C.



UBICACIÓN DE SECADOR SOLAR EN ÁREA DE LA SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES DEL Cii
CIUDAD UNIVERSITARIA ZONA 12

UBICACIÓN DEL SECADOR SOLAR

Se encontrará a la par del Instituto de la Madera en terrenos que ocupa el área de Tecnología de Materiales del Centro de Investigaciones de Ingeniería CII USAC.

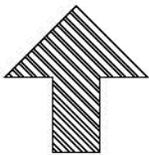


Foto tomada por el autor

SECADOR SOLAR (INVERNADERO) INACTIVO DEBIDO A LA POCA VIDA UTIL DEL POLIETILENO UTILIZADO PARA CUBRIRLO



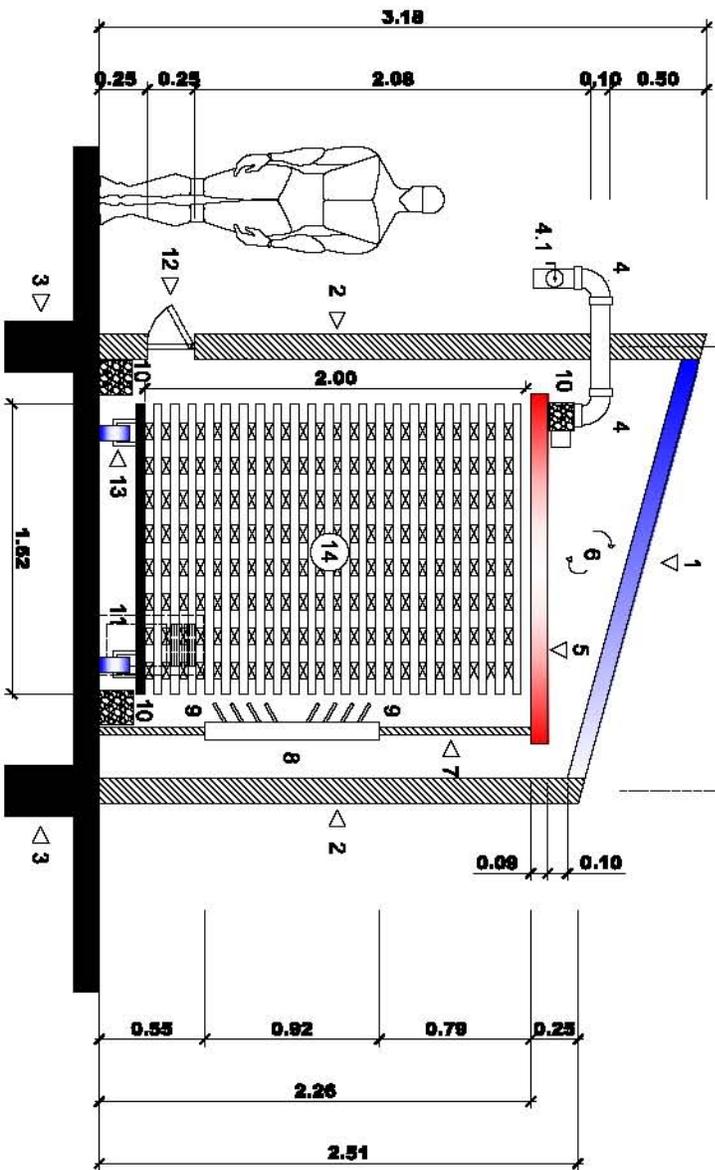
Foto tomada por el autor



NORTE

1

2



Sección Transversal - Componentes

Escala 1:25

NOMENCLATURA

- 1 - Cubierta de Policarbonato sobre Estructura Metálica
- 2 - Paredes con Estructura Metálica y Forno con Tablas Fijas de 4' x 8' (Asiento)
- 3 - Cimentación (Mesa y Losa de Cimentación)
- 4 - Ducto de Ingreso de Aire del Ambiente
- 4.1 - Vainilla de Regulación de Ingreso de Aire
- 5 - Laminas Negras Ondulada (Absorbentes de Calor)
- 6 - Cámara de Calentamiento de Aire
- 7 - Tabique Vertical de Laminas Negras
- 8 - Ventilador de 38" x 38"
- 9 - Difusores de Aire
- 10 - Desecadores de Cierre de Calico
- 11 - Deshumidificador Eléctrico
- 12 - Salida de Aire Humedo
- 13 - Cerro Porteador de Madera
- 14 - Madera Aplicada a Secar



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

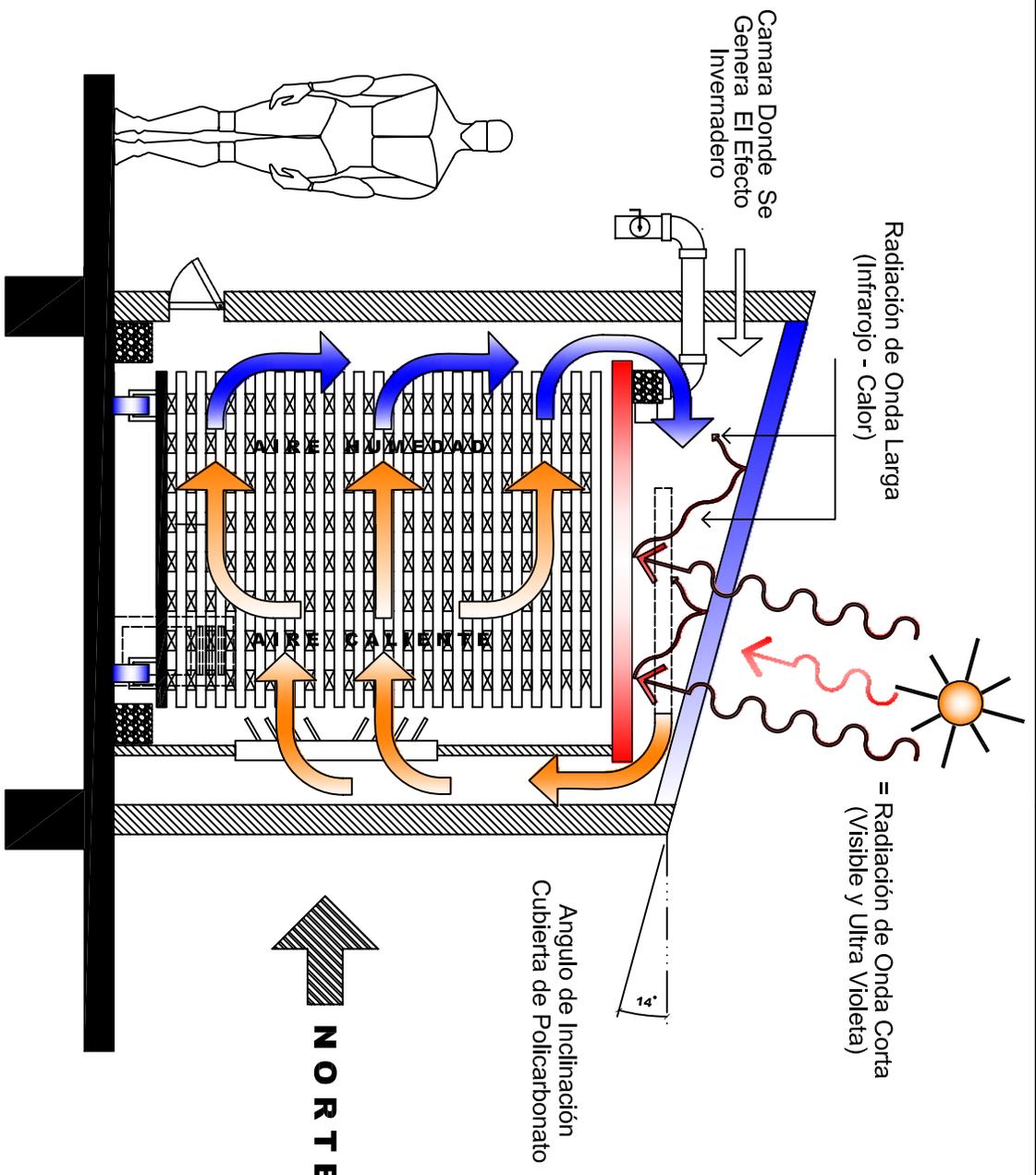
ESCUELA DE POSTGRADO,
MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE
SECADOR SOLAR PARA MADERA, HIBRIDO Y AUTOMATICO CON VENTILACION FORZADA

Contiene: SECCION TRANSVERSAL - COMPONENTES

Feder: Julio 2008 Director: Ing. Pablo De Leon

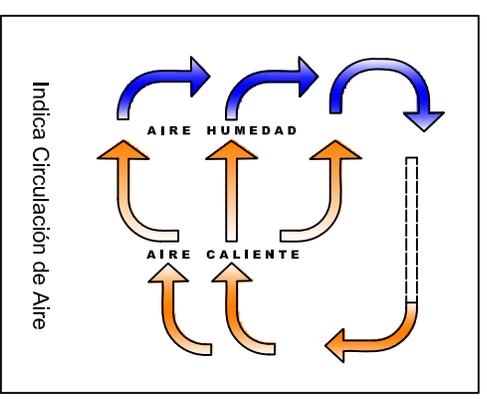
Escala: 1/100 Dibujo: Arq. Edgar Peque

Hoja: 1/5



Sección Transversal - Funcionamiento

Escala 1: 20



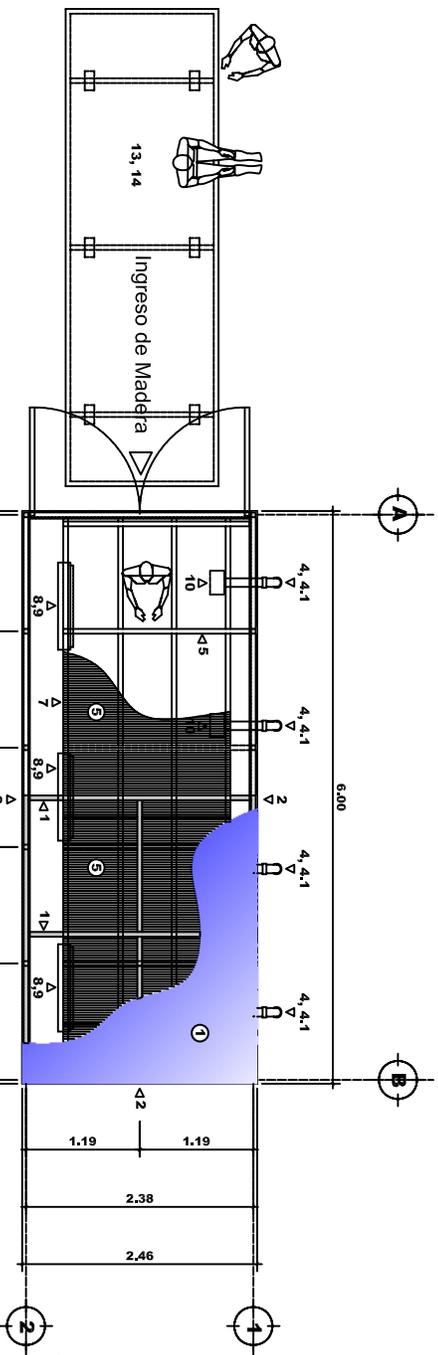
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE POSTGRADO,
MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE

SECADOR SOLAR PARA MADERA, HIBRIDO Y AUTOMATICO CON VENTILACION FORZADA

Contiene: SECCION TRANSVERSAL - FUNCIONAMIENTO

Fecha: Julio 2009	Diseño: Ing. Pablo De Leon	Foja: 2/5
Escala: 1/1/20	Dibujo: Arq. Edgar Peque	



Planta - Desecador de Madera

Escala 1: 50

NOMENCLATURA

- 1 - Cubierta de Policarbonato sobre Estructura Metálica
- 2 - Paredes con Estructura Metálica y Forro con Tabla Roca de 4" x 8" (Asistente)
- 3 - Cimentación (Vigas y Losa de Cimentación)
- 4 - Ducto de Ingreso de Aire del Ambiente
- 4.1 - Valvula de Regulación de Ingreso de Aire
- 5 - Laminas Negra Ondulada (Absorbidora de Calor)
- 6 - Camara de Calentamiento de Aire
- 7 - Tabique Vertical de Laminas Negra
- 8 - Ventilador de 36" x 36"
- 9 - Difusores de Aire
- 10 - Desecadores de Cieruro de Calico
- 11 - Deshumidificador Electrico
- 12 - Salida de Aire Humedo
- 13 - Carro Portador de Madera
- 14 - Madera Aplicada a Secar



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE POSTGRADO,
MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE**

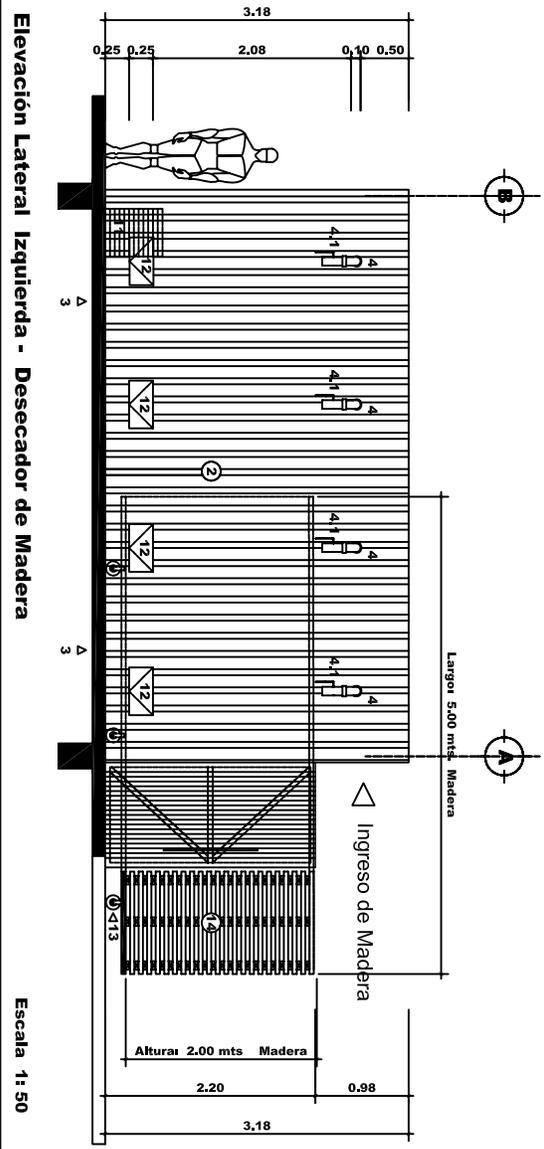
**SECADOR SOLAR PARA MADERA, HIBRIDO Y
AUTOMATICO CON VENTILACION FORZADA**

Contiene: **PLANTA • COMPONENTES**

Fecha: Julio 2009 Diseñor: Ing. Pablo De Leon

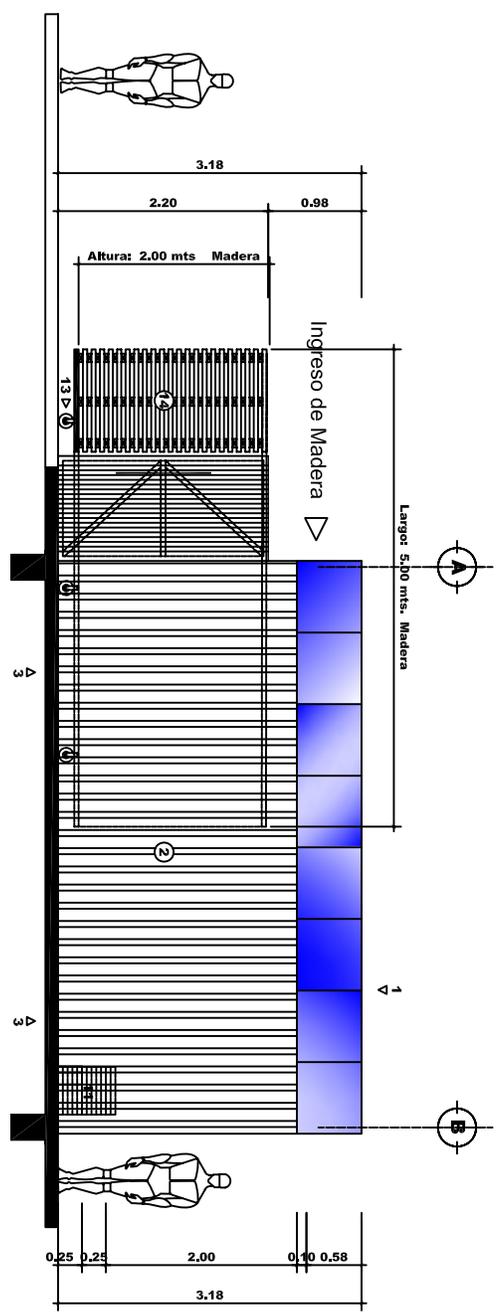
Escala: 1 / 50 Dibujo: Arq. Edgar Peque

Foja: **3 / 5**



Elevación Lateral Izquierda - Desecador de Madera

Escala 1:50



Elevación Lateral Derecha - Desecador de Madera

Escala 1:50

NOMENCLATURA

- 1 - Cubierta de Policarbonato sobre Estructura Metálica
- 2 - Paredes con Estructura Metálica y Forro con Tabla Roca de 4" x 8" (Aislante)
- 3 - Cimentación (Vigas y Losa de Cimentación)
- 4 - Ducto de Ingreso de Aire del Ambiente
- 4.1 - Valvula de Regulación de Ingreso de Aire
- 5 - Lamina Negra Ondulada (Absorbidora de Calor)
- 6 - Camara de Calentamiento de Aire
- 7 - Tabique Vertical de Lamina Negra
- 8 - Ventilador de 36" x 36"
- 9 - Difusores de Aire
- 10 - Desecadores de Cieruro de Calico
- 11 - Deshumidificador Electrico
- 12 - Salida de Aire Humedo
- 13 - Carro Portador de Madera
- 14 - Madera Apliada a Secar



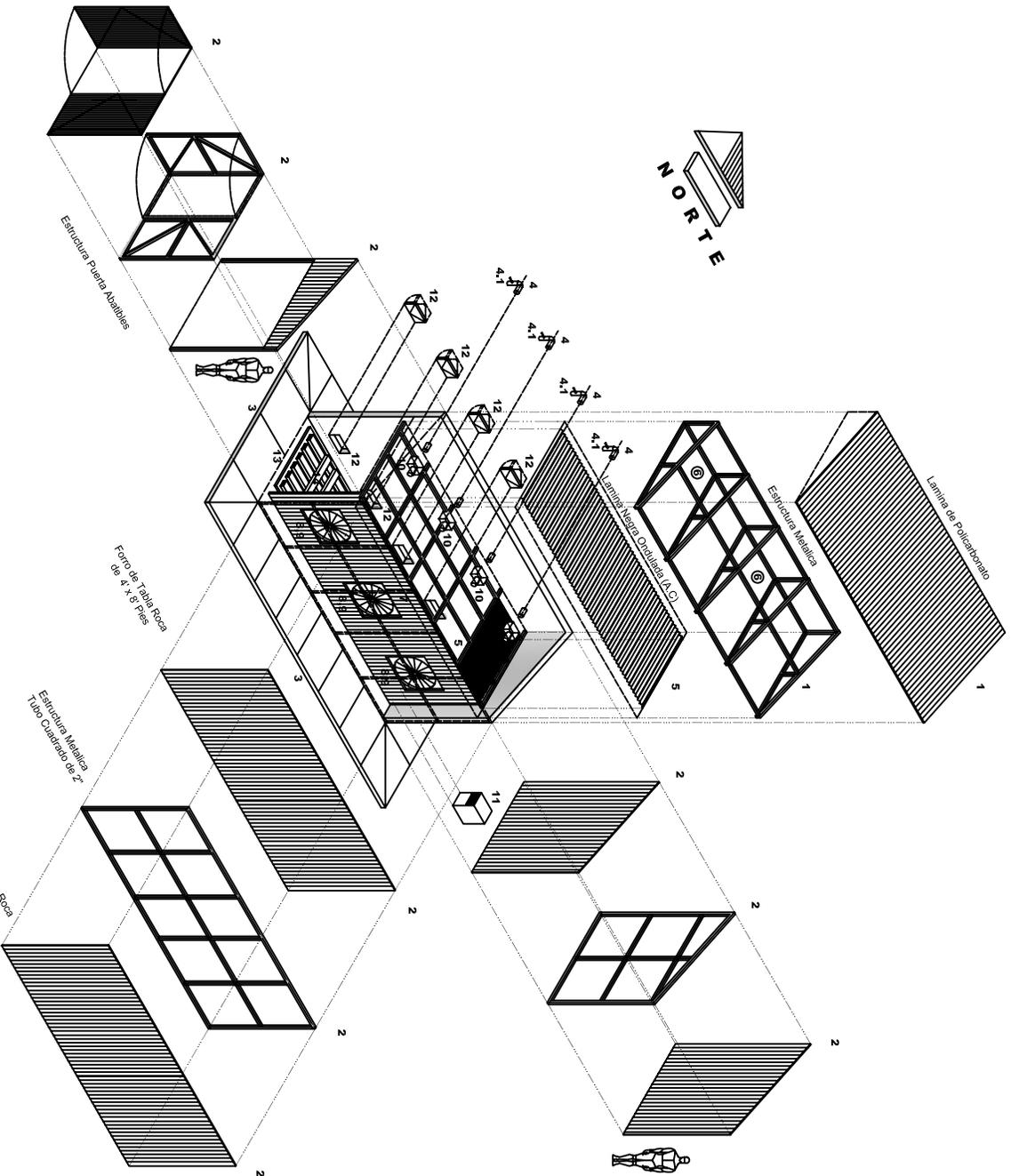
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE POSTGRADO MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE

SECADOR SOLAR PARA MADERA, HIBRIDO Y AUTOMATICO CON VENTILACION FORZADA

Contiene: **ELEVACIONES**

Fecha: Julio 2009	Diseño: Ing. Pablo De Leon	Hoja:
Escala: 1/100	Dibujo: Arq. Edgar Peque	4/5



NOMENCLATURA

- 1 - Cubierta de Policarbonato sobre Estructura Metalica
- 2 - Paredes con Estructura Metalica y Forro con Tabla Roca de 4 x 8 (Asistente)
- 3 - Cimentacion (Vigas y Losa de Cimentacion)
- 4 - Ducto de Ingreso de Aire del Ambiente
- 4.1 - Valvula de Regulacion de Ingreso de Aire
- 5 - Lamina Negra Ondulada (Absorbidora de Calor)
- 6 - Camara de Calentamiento de Aire
- 7 - Tabique Vertical de Lamina Negra
- 8 - Ventilador de 36" x 36"
- 9 - Difusores de Aire
- 10 - Desecadores de Cieruro de Calico
- 11 - Deshumidificador Electrico
- 12 - Salida de Aire Humedo
- 13 - Carro Portador de Madera
- 14 - Madera Aplicada a Secar



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE POSTGRADO,
MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE**

SECADOR SOLAR PARA MADERA, HIBRIDO Y AUTOMATICO CON VENTILACION FORZADA

Contiene: **VISTA EXPLOTADA**

Fecha: Julio 2009	Diseño: Ing. Pablo De Leon	Foja: 5/5
Escala: 1/100	Dibujo: Arq. Edgar Peque	

Diagrama No. 1

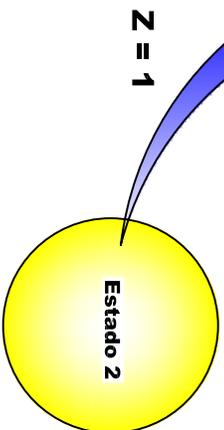
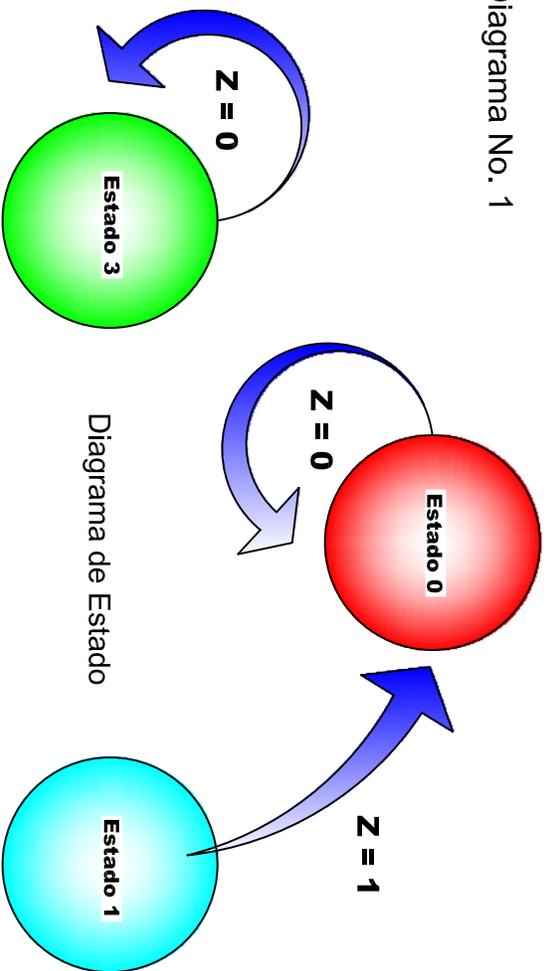


Diagrama de Estado

Observación:
 Se debe mencionar que los ventiladores no serán accionados directamente por el PLC (Controlador Lógico Programable), si no que se utilizan los interruptores finales colocados en las ventanas, de forma que primero se abren las ventanas, inmediatamente después arrancan los ventiladores.

TABLA No. 1
SISTEMA DE CONTROL

# Estado	Señales de Control		Estado del Sistema	Salidas al Controlador Señal Temporizada
	Sensor de Humedad	Interruptores (Ventanas)		
0	0	0	sin humedad y con ventanas cerradas	0
1	0	1	sin humedad y con ventanas abiertas	0
2	1	0	humedad y ventanas cerradas	1
3	1	1	humedad y ventanas abiertas	0

Ejemplo: Las señales son 0,0 esto indica que no hay humedad suficiente y las ventanas están cerradas. Si, tenemos un 0,1 no hay humedad suficiente, y además las ventanas están abiertas.

- Estado # 0 : Se da cuando las ventanas están cerradas, los ventiladores están apagados, y además no hay suficiente humedad para que se dé inicio al sistema.
 - Estado # 1 : Es cuando los ventiladores están funcionando y las ventanas están abiertas pero ya descendiendo el nivel de humedad y ya no es necesario que el sistema continúe trabajando.
 - Estado # 2 : Las ventanas están cerradas, los ventiladores no funcionan y hay humedad en el ambiente suficiente para iniciar al sistema.
 - Estado # 3 : Los ventiladores están funcionando, las ventanas están abiertas y hay humedad en el ambiente.
- Salida Temporizada:**
 Esta salida indica el sistema cuando está apagado con una señal activa, y apaga el sistema cuando esta funcionando con la señal activa, esta salida tiene un tiempo igual al necesario para la apertura de las ventanas.

Diagrama de Estado y Sistema de Control

Escala 1: 100



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE POSTGRADO,
MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE

SECADOR SOLAR PARA MADERA, HIBRIDO Y
AUTOMATICO CON VENTILACION FORZADA

Contiene: **DIAGRAMA DE ESTADO Y SISTEMA DE CONTROL**
(Diagrama No. 1)

Fecha: Julio 2009	Diseño: Ing. Pablo De Leon	Hoja:
Escala: 1 / 25	Dibujo: Arq. Edgar Peque	1 / 4

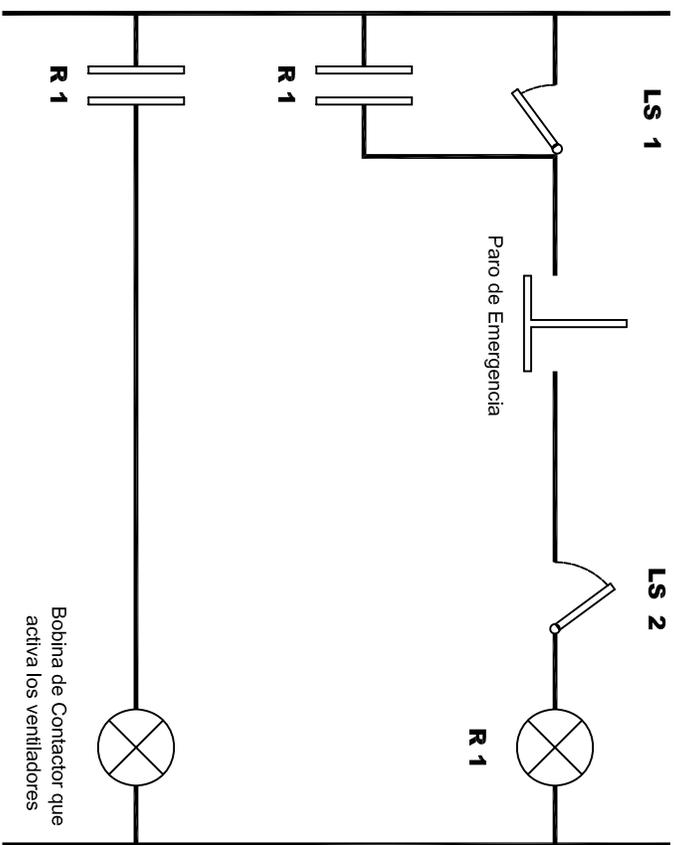


Diagrama No. 2

LS 1 = Interruptores Limite
 R 1 = Contactos Normalmente Abiertos

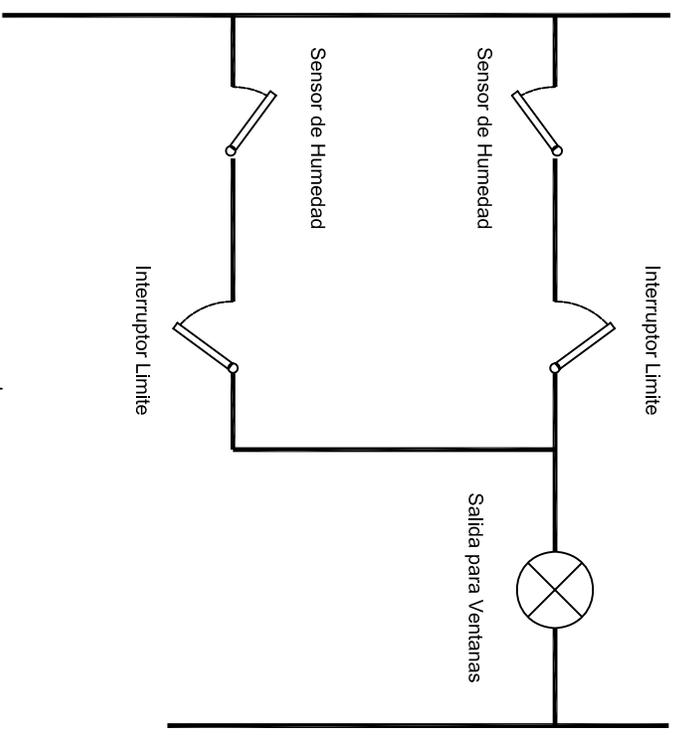


Diagrama No. 3

Diagrama Escalera del Control

(para activar Ventiladores)

Escala 1: 100



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
 DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE POSTGRADO,
 MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE**

**SECADOR SOLAR PARA MADERA, HIBRIDO Y
 AUTOMATICO CON VENTILACION FORZADA**

Contiene: **DIAGRAMA ESCALERA DEL CONTROL**
(Diagrama No. 2 y 3)

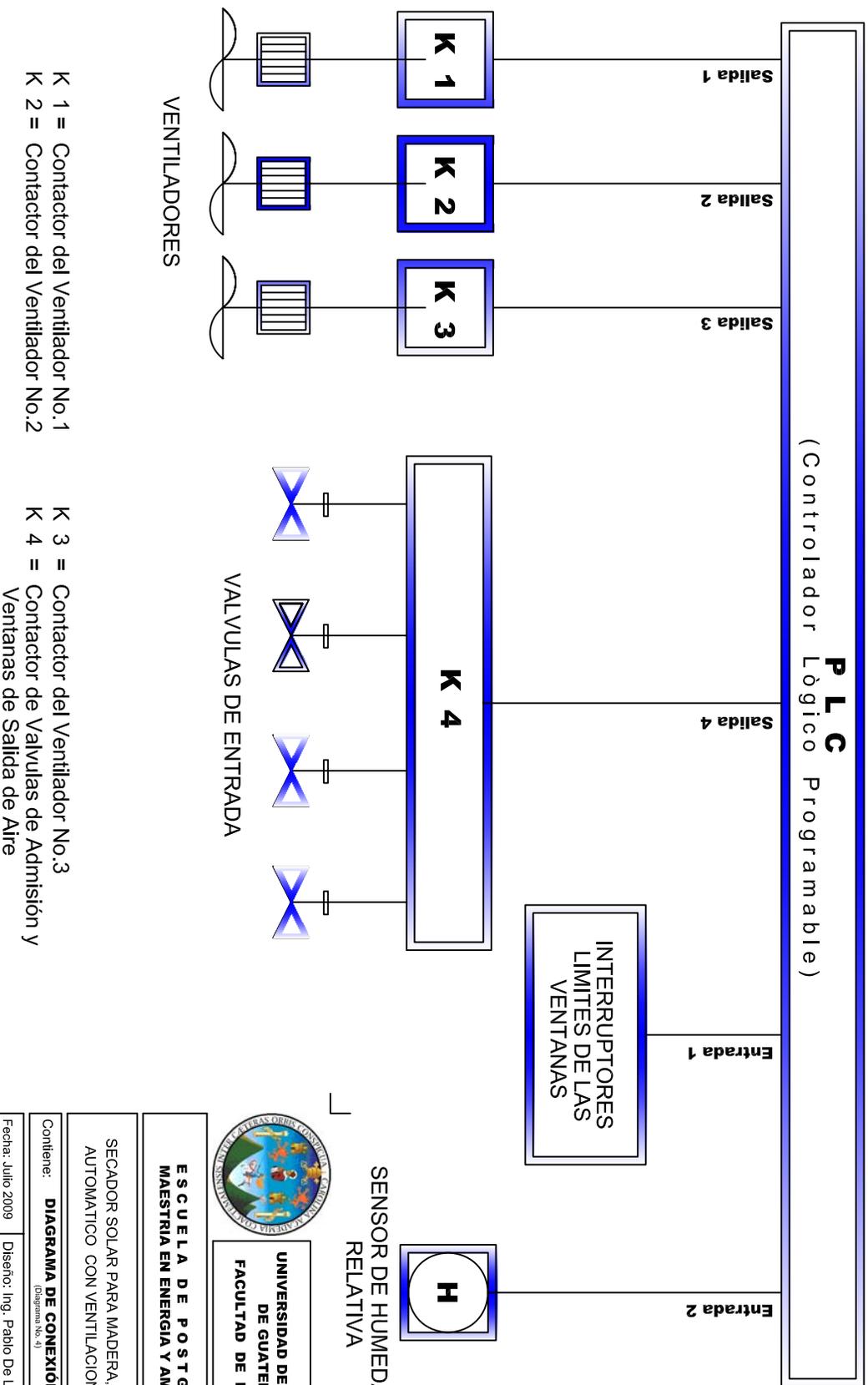
Fecha: Julio 2009 Diseñor: Ing. Pablo De Leon

Escala: 1/25 Dibujo: Arq. Edgar Peque

Foja: **2/4**

Diagrama No.4

CONEXIÓN DEL PLC



K 1 = Contactor del Ventilador No.1
 K 2 = Contactor del Ventilador No.2

K 3 = Contactor del Ventilador No.3
 K 4 = Contactor de Valvulas de Admisión y Ventanas de Salida de Aire



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA

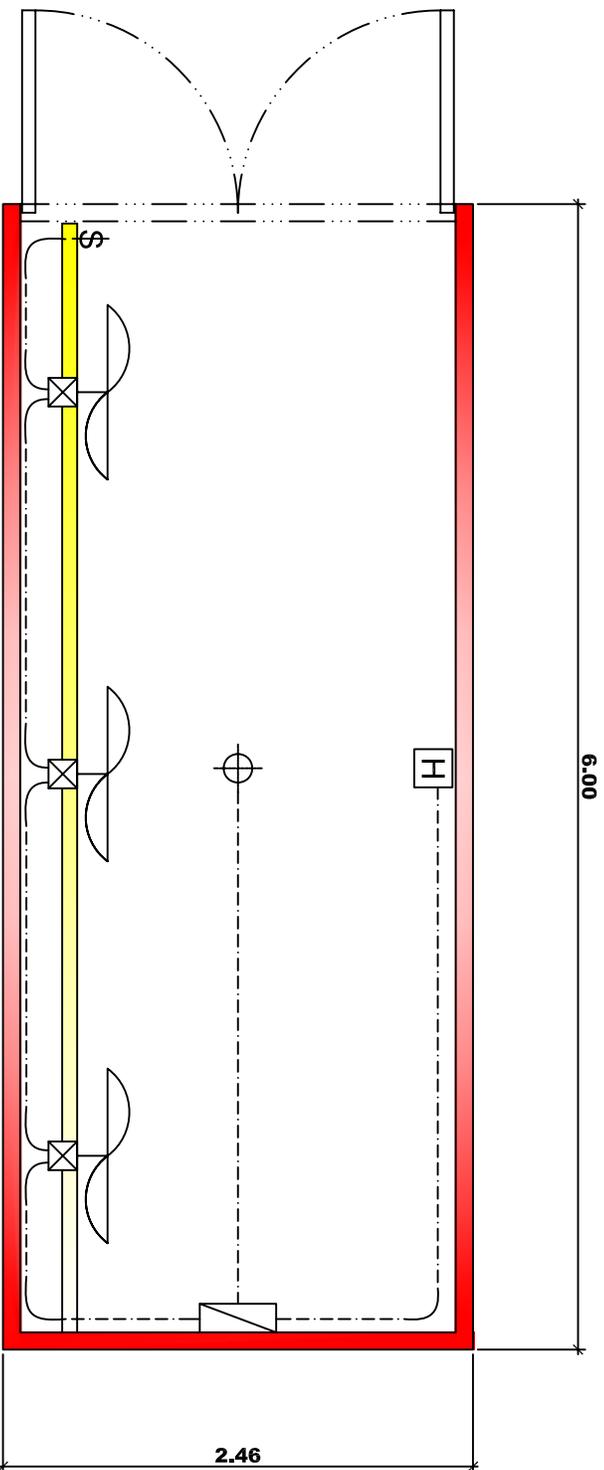
ESCUELA DE POSTGRADO,
 MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE

SECADOR SOLAR PARA MADERA, HIBRIDO Y AUTOMATICO CON VENTILACION FORZADA

Contiene: **DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE PLC**
(Diagrama No.4)

Fecha: Julio 2009	Diseño: Ing. Pablo De Leon	Foja: 3/4
Escala: 1/ 100	Dibujo: Arq. Edgar Peque	

Diagrama No. 5



Planta Diagrama Sistema Electrico

Escala 1: 25

-  = Ventiladores de 1/2 HP
-  = Sensor de Humedad
-  = Tablero de Control
-  = Tuberia de PVC de 3/4"



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE POSTGRADO,
MAESTRIA EN ENERGIA Y AMBIENTE
SECADOR SOLAR PARA MADERA, HIBRIDO Y
AUTOMATICO CON VENTILACION FORZADA

Contiene: **DIAGRAMA DE SISTEMA ELECTRICO**
(Diagrama No. 5)

Fecha: Julio 2009	Diseño: Ing. Pablo De Leon	Foja:
Escala: 1/25	Dibujo: Arq. Edgar Peque	4/4