

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

MAESTRÍA EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN ENERGÉTICA

“ANÁLISIS DEL USO DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA CIUDAD DE CUENCA”

Trabajo de Titulación Previo a la
Obtención del Título de Magíster en
Planificación y Gestión Energética

AUTOR:

ING. QUÍM RAÚL OSWALDO CONTRERAS VIDAL

C.I: 0101867174

DIRECTOR:

ING. JUAN LEONARDO ESPINOZA ABAD PhD.

C.I: 0102559325

CUENCA – ECUADOR

2017



RESUMEN

El secado de la madera es una actividad fundamental en la industria de la madera y mueble. Existen dos formas de secar la madera: La primera es el secado natural, donde el agua que contiene la madera se evapora en forma natural, la segunda es el secado artificial que se lo realiza a través de equipos llamados secadores convencionales, donde se elimina el agua controlando temperatura, humedad, ventilación. Con una introducción sobre la madera y sus características, se presenta un diagnóstico de la industria de la madera y mueble en la ciudad de Cuenca, resaltando la importancia del proceso de secado y la necesidad de obtener madera seca para que sea utilizada en dicha industria. El objetivo de este trabajo es desarrollar una propuesta de fabricación de un Secador Solar para Madera, en donde se estudia el diseño, funcionamiento, y costos del equipo. El uso de esta tecnología es una opción real para su desarrollo pues existe el conocimiento técnico, y condiciones climáticas adecuadas. El funcionamiento del secador solar posee características similares a los secadores convencionales, por lo que se hace una comparación de los materiales, equipos y combustibles con los que se fabrica y funcionan estos tipos de secadores. Se realiza una evaluación de los costos de funcionamiento del secador convencional versus el secador solar, analizando consumo de combustible, de energía eléctrica y los costos totales de funcionamiento de estas dos alternativas todo esto en función de condiciones similares de producción.

Palabras claves: madera, secado de madera, secador solar



ABSTRACT

The drying of wood is a fundamental activity for the development of the wood and furniture industry. There are two ways to dry the wood: The first is the natural dry, where the water contained in the wood evaporates naturally, and the second way to dry wood is the artificial drying that is done through the use of equipment and suitable facilities known as conventional dryers, where the water is removed by controlling the temperature, humidity, and ventilation. From an introduction on the wood and its characteristics, a diagnosis of the situation of the wood and furniture industry is presented in the city of Cuenca and its surroundings, highlighting the importance of the drying process and the need to obtain dry wood to be used in this industry. The objective of this work is the development of a proposal for the manufacture of a Solar Dryer for wood where a study is made on its design, functions, and cost. The use of this technology is a real option for its development because there is technical knowledge, and there are climatic conditions suitable for its development. The operation of a solar dryer has characteristics similar to conventional dryers, for this it controls parameters such as initial humidity and final, drying time. In addition, a comparison of the materials, equipment and fuels with which conventional dryers and solar dryers are manufactured and operated. An evaluation of the costs of operation of the conventional dryer is realized. Solar dryer, analyzing fuel consumption, electrical energy and total operating costs between the proposed drying equipment and the conventional drying equipment, all in terms of similar production conditions.

Keywords: wood, wood drying, solar dryer



Índice de contenidos

Introducción	14
Objetivos	16
Capítulo 1	17
1. LA MADERA.....	17
1.1. Partes de la madera	17
1.2. Estructura de la madera	19
1.2.1. Estructura Anatómica	19
1.2.2. Estructura Química	19
1.2.3. Estructura Macroscópica	20
1.2.4. Estructura Microscópica	21
1.2.5. Propiedades de la madera.....	22
1.3. Tipos de madera	23
1.4. Características de la madera	25
1.5. Tipos de madera que predominan en la zona de Cuenca	25
Capítulo 2	27
2. INDUSTRIA DE LA MADERA Y MUEBLE	27
2.1. Situación de la industria en Ecuador y Cuenca	28
2.2. Análisis de la Cadena de la Industria de la Madera y Mueble	32
2.4. El Secado de la madera	34
2.4.1. Conceptos básicos del secado	35
2.5.1. Secado natural	37
2.5.2. Secado artificial	39
2.6. Secadores de madera convencionales.....	41
Capítulo 3	45
3. LA ENERGIA SOLAR Y SUS APLICACIONES	45
3.1. Características de la Energía Solar.....	46
3.1.1. La radiación solar	46
3.1.2. Radiación solar global	47
3.1.3. Radiación solar directa	47
3.1.4. Radiación solar difusa	47
3.2. Energía Solar Fotovoltaica	48
3.2.1. Principales aplicaciones	50
3.3. La Energía Solar Térmica	52
3.3.1. Principales aplicaciones	53



3.4. Los secadores solares de madera	54
3.4.1 Diseños más usados	56
3.4.2 Comparación de un Secador Solar respecto a un Secador Convencional.....	60
Capítulo 4	63
4. DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR	63
4.1. Radiación solar y posición del secador	64
4.2. Tamaño y capacidad del secador solar	65
4.3. Aislamiento del calor	65
4.4. Componentes básicos del secador	65
4.4.1. Techo	66
4.4.2. Colector	67
4.4.3. Ventiladores (abanicos)	68
4.4.4. Ventililas.....	69
4.5. Diseño y materiales de construcción	70
4.5.1. Cimientos	70
4.5.2. Paredes, puertas y ventanas	71
4.5.3. Techo	72
4.5.4. Colector	74
4.5.5. Ventiladores (abanicos)	75
4.5.6. Modelo de producción	75
4.6. Prototipo de un secador solar para Cuenca	76
Capítulo 5	84
5. ANALISIS DE COSTOS	84
5.1. Los costos como base para la toma de decisiones	84
5.2. Costos de fabricación de un secador convencional	85
5.3. Costos fabricación de un secador solar.....	86
5.3.1. Cimientos	86
5.3.2. Paredes, puertas y ventanas	86
5.3.3. Techo	87
5.3.4. Colector	87
5.3.5. Ventiladores (abanicos)	87
5.4. Costos del prototipo diseñado	88
5.5. Costos de operación y mantenimiento de un secador convencional	88
5.6. Costo de operación y mantenimiento de un secador solar	92



5.7. Análisis costo-beneficio de las alternativas propuestas.....	93
Capítulo 6	102
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
6.1. Conclusiones	102
6.2. Recomendaciones	105
7. Bibliografía	106
ANEXOS	109
ANEXO 1	110
Proforma de un secador convencional	110
ANEXO 2	115
Proforma base de secador solar.	115
ANEXO 3	116
Proforma paredes, puertas, ventanas.	116
ANEXO 4	117
Proforma techo secador solar	117
ANEXO 5	118
Proforma Colector solar	118
ANEXO 6	119
Proforma ventiladores	119
ANEXO 7	120
Proforma secado de madera.....	120



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Definiciones Oficiales por tamaño de la empresa, Ecuador	29
Tabla 2.2 Empresas e Intermediarios Identificados en la ciudad de Cuenca .	30
Tabla 2.3 Especies y cantidades de madera más utilizadas en Cuenca	31
Tabla 2.4 Contenido final de humedad de las maderas de acuerdo al destino o empleo	40
Tabla 4.1 Promedio de temperatura y precipitaciones de la ciudad de Cuenca	64
Tabla 4.2. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de materiales para construir el techo de un secador solar.....	73
Tabla 4.3. Medidas y cantidades de paredes puertas y ventanas del secador solar diseñado.....	83
Tabla 5.1. Costo de un secador convencional.....	85
Tabla 5.2. Medidas y cantidades de paredes puertas y ventanas del secador solar diseñado.....	87
Tabla 5.3. Costo de construcción de secador solar diseñado.....	88
Tabla 5.4. Poder Calórico de combustibles (SELTAR, 2017).	90
Tabla 5.5. Cantidad de agua eliminada por el combustible diesel	91
Tabla 5.6. Costo total por consumo de energía.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Partes del tronco de madera (Ministerio de Fomento Industria y Comercio , 2005)	18
Figura 1.2 Constitución química de la madera (Campos, 2007)	20
Figura 1.3 Esquema para la orientación de las superficies transversal, tangencial y radial de una muestra de madera (Campos, 2007)	21
Figura 1.4 Tipos de corte de la madera (Bravo, 2016)	21
Figura 1.5 Estructura microscópica en especies latifolias (Calleros, 2012) ...	23
Figura 1.6 Estructura microscópica de especie coníferas (Calleros, 2012) ...	24
Figura 2.1 Encastillado para secar madera en forma natural (Calderón, 1993).....	38
Figura 2.2 Croquis de un Secador Convencional Tipo Túnel (Calderón, 1993).....	42
Figura 2.3 Horno Convencional Estático (Nardi, 2017).....	43
Figura 2.4 Secador Convencional de Compartimiento Estático (Calderón, 1993).....	43
Figura 3.1 Mapa de Energía Solar Mundial en kWh/m ² (Samaniego, 2015) .	47
Figura 3.2 Lases de Radiación Solar Terrestre (Pacco, 2010)	48
Figura 3.3 Funcionamiento de una célula solar (Vásquez Calero, 2015).....	48
Figura 3.4 Panel solar fotovoltaico (Vásquez Calero, 2015).	49
Figura 3.5 Estructura de un sistema fotovoltaico autónomo (Mogrovejo, 2011).....	50
Figura 3.6 Instalación fotovoltaica conectada a la red (Mogrovejo, 2011).	51
Figura 3.7 Instalaciones fotovoltaicas para viviendas aisladas de la red. (Mogrovejo, 2011)	51
Figura 3.8 Captadores solares para temperaturas media y alta (Vásquez Calero, 2015).	53
Figura 3.9 Proceso general de secado de un secador solar para madera (Salas C. , 2008)	55
Figura 3.10 Secador con colector integrado y paredes aisladas (Aravena, 2008).....	57
Figura 3.11 Secador con área del colector externa y paredes aisladas (Aravena, 2008).	57
Figura 3.12 Secador solar tipo invernadero (Fuente. El Autor).	58
Figura 3.13 Sistema del secador solar y un horno de leña (Aravena, 2008)..	59
Figura 3.14. Secador solar reflector de Uganda (Aravena, 2008).....	60
Figura 3.15 Curva de secado de un secador convencional (Delgado M. V., 2017).....	61
Figura 3.16 Curva de secado de un secador solar (Delgado M. V., 2017).....	62
Figura 4.1 Efecto invernadero ocasionado por la incidencia de los rayos solares que atraviesan el techo de vidrio (Salas C. , 2008).	66
Figura 4.2 Ejemplo del ángulo óptimo de inclinación de un secador solar (Salas, 2008).....	67
Figura 4.3 Movimiento del aire caliente a través de la pila de madera que se seca cuando se usa abanico con un sólo sentido de giro (Revista Chapingo, 2003).....	69



Figura 4.4 Esquema de funcionamiento de un ventilador de doble giro (yoreparo, 2016) 69

Figura 4.5 Estructura de paredes y puertas del secador solar (Fuente: El Autor)..... 72

Figura 4.6 Detalle colocación de vidrio sobre estructura metálica del techo (Fuente: Propia) 74

Figura 4.7 Techo de vidrio del Secador Solar (Fuente: Propia) 74

Figura 4.8 Secadero MADT-MD (SELTAR, 2017). 77

Figura 4.9 Detalle de colocación de viga sobre la loza (Fuente Propia) 79

Figura 4.10 Planta Única Secador Solar (Fuente Propia) 79

Figura 4.11 Diseño Secador Solar (Fuente Propia) 80

Figura 4.12 Plano de Planta del Techo o Cubierta (Fuente Propia)..... 80

Figura 4.13 Vista Frontal del secador solar diseñado (Fuente Propia) 81

Figura 4.14 Vista Posterior Secador Solar Diseñado (Fuente Propia) 81

Figura 4.15 Vista Lateral Izquierda Secador Solar Diseñado (Fuente Propia) 82

Figura 4.16 Vista Lateral Derecha Secador Solar Diseñado (Fuente Propia) 82



Universidad de Cuenca

Cláusula de derechos de autor

Cláusula de Licencia y Autorización para Publicación en el Repositorio Institucional

Raúl Oswaldo Contreras Vidal en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "ANÁLISIS DEL USO DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA CIUDAD DE CUENCA", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21 de septiembre de 2017

Raúl Oswaldo Contreras Vidal
C.I: 0101867174



Universidad de Cuenca

Cláusula de propiedad intelectual

Cláusula de Propiedad Intelectual

Raúl Oswaldo Contreras Vidal, autor del trabajo de titulación ANALISIS DEL USO DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA CIUDAD DE CUENCA*, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 21 de septiembre de 2017

Raúl Oswaldo Contreras Vidal
C.I: 0101867174



DEDICATORIA

Este estudio que representa la culminación de la formación profesional relacionada con la Maestría en Planificación y Gestión Energética la dedico a todos mis familiares, en particular a mi esposa e hijos.



AGRADECIMIENTO

Quiero expresar el más sincero agradecimiento a todas las personas que han colaborado y apoyado en el desarrollo del estudio de la Maestría en Planificación y Gestión Energética, en particular al Departamento de Posgrados de la Facultad de Ciencias Químicas que en todo momento han estado prestos a que se pueda culminar con éxito estos estudios.



Introducción

Cuenca y sus alrededores ha experimentado un importante desarrollo de la industria del mueble y la madera en los últimos 40 años, llegando a representar casi el 70 % de la producción nacional de muebles de madera (MIPRO, 2012). Los fabricantes de muebles tienen dificultades para disponer de maderas óptimas para su uso, debido a: la alta demanda de esta materia prima, el abastecimiento de madera proviene directamente desde bosques, sin tratamiento previo, por lo que no se encuentra en condiciones de uso inmediato. Esta situación ha generado la necesidad de contar con procesos adecuados de tratamiento de la madera. Entre estos se destaca el proceso de secado.

Existen dos formas de secar la madera: La primera es el secado natural o al aire libre, en donde el agua que contiene la madera se elimina mediante evaporación en forma natural, teniendo como consecuencia la reducción de humedad, y la segunda es el secado artificial a través de equipos e instalaciones adecuados en donde se elimina el agua mediante el control de factores como temperatura, humedad, y ventilación.

El secado artificial se lo realiza al interior de equipos conocidos con el nombre de secadores convencionales, que constan de una cámara de secado en donde, por el uso de equipos adecuados, se incrementa la temperatura interior calentando el aire, mediante el uso de ventiladores se hace circular el aire caliente a través de la pila de madera en donde se calienta la madera y se produce el secado. Se debe considerar que este tipo de secadores utilizan combustible de origen fósil y/o biomasa residual para su funcionamiento y esto causa problemas medioambientales como es la generación de gases de efecto invernadero y otros gases contaminantes.

El proceso de secado artificial, debe garantizar el cumplimiento de características físicas específicas como por ejemplo un contenido de humedad definido, y no debe causar daños a la madera, al mismo tiempo de impedir el ataque de hongos y algunos insectos xilófagos. Entre las ventajas de los métodos artificiales sobre el secado natural puede incluirse la disminución del tiempo de secado y el menor riesgo de rajaduras y agrietamientos. Por estas



razones el secado de madera es una de las etapas más importante del proceso de preparación de madera para la manufactura, tendiente a obtener productos finales con alto valor agregado.

En Cuenca existe un problema para realizar el secado artificial de madera debido al reducido número de fábricas y aserraderos que poseen secadores convencionales propios. Esto es debido a factores como elevada inversión de maquinaria y equipos, alto costo de operación, reducida disponibilidad de mano de obra calificada para operar estos equipos y complejos sistemas de control de humedad de la madera, temperatura y humedad relativa de la cámara de secado (Salas, 2008). Adicionalmente, no existe un adecuado servicio de secado de madera al público (pequeños y medianos productores) lo cual genera inconvenientes y limita que muchas microempresas puedan disponer de madera en condiciones necesarias y suficientes para su utilización.

Por estas razones el presente trabajo realiza un estudio sobre el diseño, funcionamiento y costos de un Secador Solar para Madera Aserrada, que utiliza energía solar como fuente de energía primaria, que servirá como alternativa de implementación de un sistema de secado artificial, y así disponer de madera apta para su uso, contribuyendo a cubrir la demanda existente. Además se hace un estudio sobre la madera y sus características, se presenta un diagnóstico de la industria de la madera y mueble en la ciudad de Cuenca.

En la actualidad en la ciudad de Cuenca, (zona de influencia de este estudio) no se conoce casos en los que se utiliza esta tecnología para el secado con energía solar a pesar de existir el conocimiento técnico y condiciones climáticas adecuadas para su implementación y funcionamiento,



Objetivos

Para el desarrollo de esta tesis se plantea los objetivos generales y específicos, los cuales son:

Objetivo General.-

Proponer el diseño preliminar, a manera de prototipo, de un secador solar para la industria de la madera, realizando una evaluación técnica y económica de esta alternativa a fin de determinar si este tipo de secador es una opción real para implementarse en la ciudad de Cuenca.

Objetivo Especifico.-

- Determinar la importancia de la industria de la madera y mueble en la ciudad de Cuenca
- Determinar los consumos y las especies de madera más utilizadas en la ciudad de Cuenca
- Analizar el funcionamiento y la eficiencia energética del secador solar para madera
- Diseñar un secador solar de madera adecuado para la ciudad de Cuenca
- Determinar los costos de fabricación de un secador solar, y compararlos con los de un secador convencional
- Determinar los costos de funcionamiento de un secador solar y compararlos con el del secador convencional
- Analizar los tiempos de secado de madera del secador solar y compararlos con los empleados por un secador convencional



Capítulo 1

1. LA MADERA

La madera desde la antigüedad ha sido uno de los principales recursos de origen vegetal más utilizados por el hombre. Se entiende por madera aquella parte fibrosa conformada por el conjunto de células que constituyen el tejido leñoso que se encuentra por debajo de la corteza de los árboles y que conforma el tronco. Gracias a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas la madera está presente como materia prima en varias actividades que realiza el hombre tales como vivienda, transporte, industria y puede ser utilizada como fuente de energía. Esta materia prima se caracteriza también por ser un recurso renovable.

1.1. Partes de la madera

Si se realiza un corte transversal del tronco se aprecia que su estructura no es uniforme, existiendo diferentes zonas y partes, en donde cada una de ellas cumple una función específica en el crecimiento del árbol y por tanto en la formación de la madera (Campos, 2007). Desde la parte interior hacia la exterior las diferentes partes del tronco son:

La Médula o Núcleo: Se encuentra situada en la parte central del tronco. Su constitución se basa en células que forman tejidos, su tamaño es variable y depende de la especie de madera estudiada.

El Xilema: Constituye la madera propiamente dicha, se compone de dos partes, la una conocida como **albura o** madera joven y la segunda conocida como **duramen** o madera desarrollada (Calleros, 2012)

El Duramen: También conocido como corazón, se encuentra alrededor de la médula y es la madera propiamente dicha, su color es oscuro y está constituido por células lignificadas formando tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia, le sirve de apoyo al árbol y le da más resistencia al ataque de insectos y hongos. (Ministerio de Fomento Industria y Comercio , 2005)

La Albura: Sirve como soporte mecánico del árbol Está conformada por células jóvenes que almacenan alimentos, con el tiempo se transforma en duramen. Está

más expuesta al ataque biológico (hongos, insectos, etc.), presenta una coloración clara en relación a las otras partes de la madera.

EL Cambium: Es un conjunto de células que se forman continuamente, son las responsables del crecimiento del tronco formando dos capas de células, la primera hacia el interior, células leñosas que forman el xilema capas concéntricas conocidos como anillos de crecimiento, la segunda hacia afuera formando un tejido llamado floema o líber, que transporta la savia elaborada en dirección a las raíces. (Calleros, 2012).

El Líber: Conocido también como floema es el encargado de transportar la savia elaborada en dirección de las raíces (Calleros, 2012)

La Corteza: Es la parte exterior del tronco, está compuesta por células muertas y tiene como función la protección de agentes externos como hongos e insectos. En su parte interior presenta una capa de células vivas llamada Líber por donde se realiza el intercambio en sentido descendente hasta las raíces de sustancias alimenticias que son fabricadas en la fotosíntesis y el oxígeno absorbido del aire usado en la respiración (CEDRIA, 2015). En la Figura 1.1 se observa todas las partes del tronco incluida la corteza.

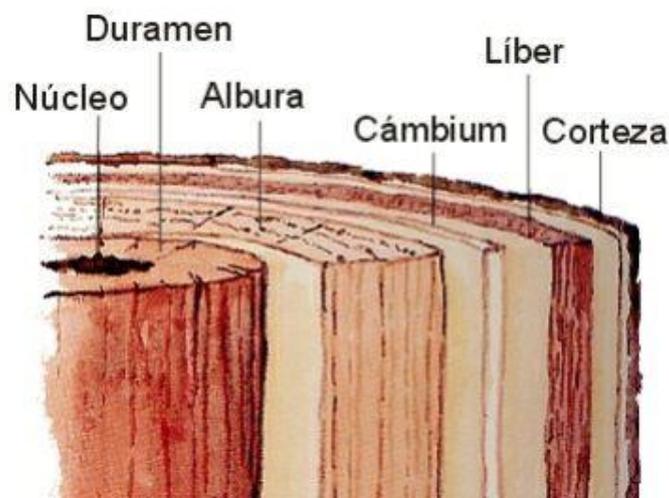


Figura 1.1 Partes del tronco de madera (Ministerio de Fomento Industria y Comercio , 2005)



1.2. Estructura de la madera

La madera es una sustancia compleja que por su organización y constitución puede ser utilizada en diferentes actividades, su estructura se la clasifica en:

- Estructura Anatómica
- Estructura Química
- Estructura Macroscópica
- Estructura Microscópica

1.2.1. Estructura Anatómica

De la estructura anatómica dependen las propiedades de resistencia mecánica tales como: aspecto, resistencia a la penetración del agua y productos químicos, resistencia a la putrefacción, calidad de la pulpa y la reactividad química (Campos, 2007). La madera está conformada por dos tipos de células que tienen diferentes características de acuerdo a las funciones que cumplen, las unas longitudinales que se orientan desde las raíces del árbol hasta la y las otras transversales que se orientan desde la médula hasta la corteza del árbol.

1.2.2. Estructura Química

La madera en su estructura química se distinguen tiene tres compuestos básicos que son: Celulosa, hemicelulosa y lignina; y compuestos secundarios como ácidos resinosos, ácidos grasos, terpenos y fenoles. Al describir los componentes químicos de la madera, suele distinguirse entre componentes de la pared celular y compuestos secundarios, mismos que no forman parte de la pared celular. Los componentes de la pared celular son la lignina y los polisacáridos totales, constituida por celulosa y hemicelulosa. Así se sabe que la celulosa es el componente mayoritario de la madera con aproximadamente el 50% en masa seca del fuste de los árboles, cumple con la función mecánica de sostén (Carvalho, 2017), la hemicelulosa se encuentra entre el 15 y 25% de la masa de la madera seca, interviene en la formación de microfibrillas que tiene por función la de unir las fibras de la celulosa (García, 2017).

Tanto las fibras de celulosa como las de hemicelulosa están unidas entre sí por una sustancia denominada lignina, la cual actúa como mecanismo de protección

de las mencionadas fibras, dando consistencia y rigidez a la planta. La lignina se sitúa formando una capa externa alrededor de las fibras (Textos Científicos, 2017). En la Figura 1.2 se puede visualizar la constitución química de la madera

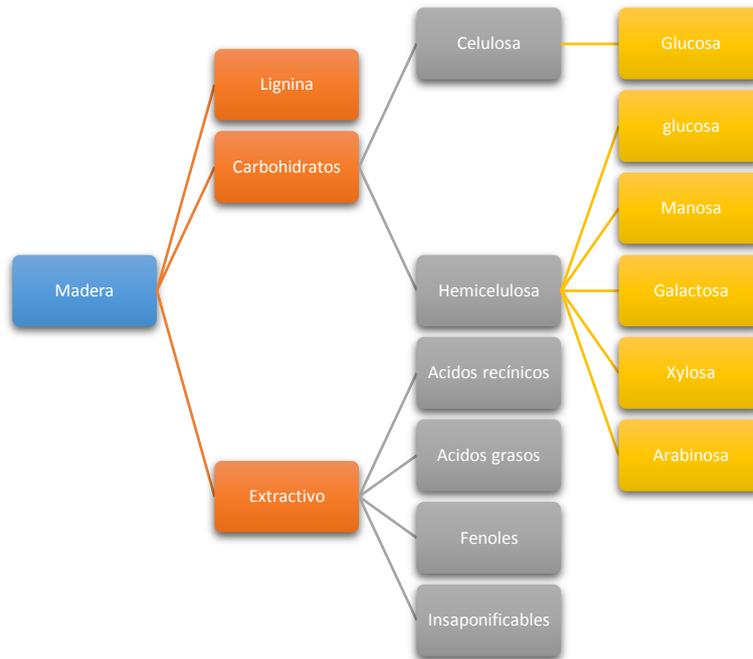


Figura 1.2 Constitución química de la madera (Campos, 2007)

1.2.3. Estructura Macroscópica

Debido a la heterogeneidad de la madera y para estudiar la estructura macroscópica se establecen tres secciones:

- Sección Radial: Es el resultado de realizar un corte longitudinal paralelo a los radios desde la corteza hacia la médula
- Sección Tangencial: Es la sección perpendicular a los radios o tangente a los anillos de crecimiento.
- Sección Transversal: Es la sección perpendicular al eje del tronco

Al examinar las tres secciones producidas en un tronco de madera, a simple vista, se pueden observar las siguientes estructuras de características fácilmente diferenciables:

- **Corteza externa** o corteza propiamente dicha.
- **Corteza interna** o líber.

- **Cambium** o capa delgada de células vivas, generadora del crecimiento en espesor del árbol (xilema y floema).

Leño o tejido leñoso propiamente dicho, que forma la mayor parte del tronco y que presenta diferencias, fácilmente apreciables en las coníferas y en algunas frondosas. Entre estas diferencias está la debida a los anillos de crecimiento, anuales en las plantas de la zona boreal y estacional en las plantas de la zona tropical con estaciones climáticas marcadas. (Campos, 2007). En las Figuras 1.7 y 1.8 se muestra las diferentes secciones ilustradas en cortes de un tronco.

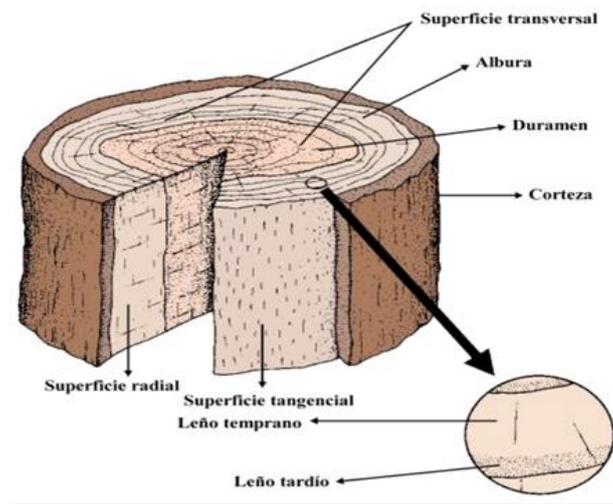


Figura 1.3 Esquema para la orientación de las superficies transversal, tangencial y radial de una muestra de madera (Campos, 2007)

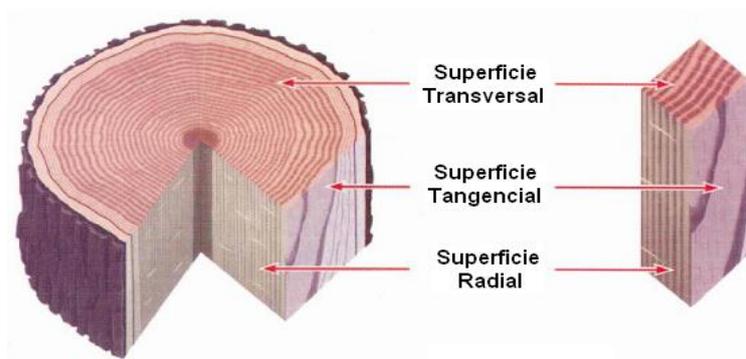


Figura 1.4 Tipos de corte de la madera (Bravo, 2016)

1.2.4. Estructura Microscópica

La heterogeneidad de la madera será, en parte, la causa de sus propiedades. Se puede considerar la madera como un conjunto de células alargadas en forma de tubos, paralelos al eje del árbol, muy variables, tanto en longitud y forma,



como en el espesor de sus paredes y en las dimensiones interiores. La variedad de tipos de células y la forma de unirse, definen la infinidad de especies diferentes de madera que existen. El conjunto de células forman tejidos y estos son los responsables de cumplir con las funciones fundamentales del árbol; esto es, conducir la savia, transformar y almacenar los alimentos y formar la estructura resistente o portante del árbol (Campos, 2007). La estructura celular de los árboles está constituida de: membrana celular, protoplasma y núcleo.

- La membrana Celular es la encargada de retener la celulosa y lignina que le otorgan la rigidez y forma definitiva de la madera
- El protoplasma posee sales disueltas, albumina, azúcares y sustancias vitales como la clorofila por su función en el proceso de la fotosíntesis
- El núcleo contiene los cromosomas responsables de la herencia biológica.

1.2.5. Propiedades de la madera

Las propiedades de la madera varían de acuerdo a la edad y sección del árbol y tiene relación con varios factores como: tipo de árbol condiciones climáticas y ambientales, composición de la madera, etc. El estudio se fundamenta en las propiedades básicas que pueden considerarse como propias en estricto de la madera, sin considerar las propiedades generales como son las propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Entre las propiedades básicas se tiene:

- Higroscópica: Es la capacidad que tiene la madera de absorber agua del medio ambiente o de eliminar agua hacia el medio que lo rodea, con lo cual aumenta o disminuye de peso y dimensiones según sea el caso
- Anisotropía: La madera por ser un material heterogéneo presenta un comportamiento desigual, o sea que sus propiedades varían de acuerdo a la dirección en que se consideren. En la madera como se expuso anteriormente, esas direcciones son la longitudinal o paralela al grano, la radial o paralela a los radios y la tangencial o tangente a los anillos de crecimiento. (Foglia, 2005)

- Polaridad: La madera presenta polaridad es decir tiene afinidad con sustancias polares como por ejemplo el agua, barnices, etc. (Vignote, 2006)

1.3. Tipos de madera

De acuerdo a su estructura celular existen dos tipos de maderas: maderas latifolias o frondosas y maderas coníferas.

Maderas latifolias frondosas: Este tipo de madera se encuentra en zonas tropicales y templadas. Sus células se caracterizan por tener paredes de un grosor considerable, con espacios vacíos, lo que vuelve a estas maderas pesadas, su tejido leñoso es tiene una estructura más compleja en relación al de las coníferas, consta de vasos, fibras, parénquima y en ocasiones canales gomíferos. En este tipo de maderas la función conductora de la savia se realiza por los vasos y la de sostén por las fibras (Calleros, 2012). En la Figura 1.9 se puede observar la estructura microscópica de una especie de madera latifolia.

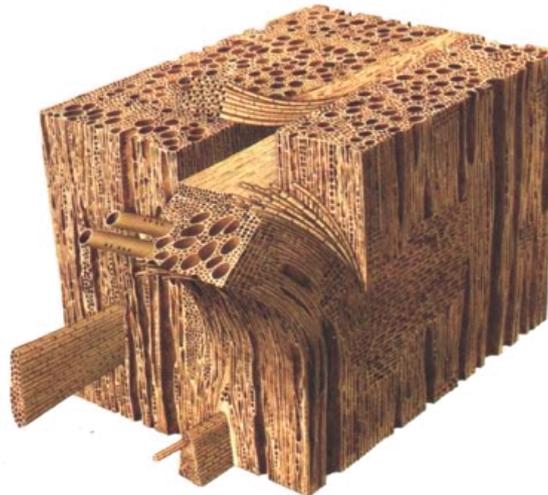


Figura 1.5 Estructura microscópica en especies latifolias (Calleros, 2012)

Estas características afectan a su apariencia y calidad volviéndolas una mejor opción para la ebanistería.

Este tipo de madera se encuentra en pocas cantidades y algunas variedades están en peligro de extinción. Algunos ejemplos son: roble, chopo, olmo, haya, castaño, nogal, aliso y sauce, entre otros.

A estas maderas se las considera **duras**. Son maderas cuyo precio en el mercado es elevado debido a que se encuentran en una amplia variedad de granos, colores y veteados. A su vez, las maderas duras se clasifican en:

Semiduras: algunos ejemplos de estas son el peral, el plátano y la acacia.

- **Duras:** aquí se ubican entre otras, el cerezo y el arce.
- **Muy duras:** algunos ejemplos son la encina y el ébano.

Maderas de coníferas: estas se encuentran en zonas templadas y frías. A diferencia de las frondosas, estas maderas tienen una estructura más simple, son de estructura homogénea, está constituida por traqueidas que cumplen doble función de sostén y conducción de la sabia (Calleros, 2012). En la Figura 1.10 se observa la estructura microscópica del tipo de maderas coníferas.



Figura 1.6 Estructura microscópica de especie coníferas (Calleros, 2012)

Se caracterizan por ser más livianas y blandas que las frondosas (Calleros, 2012). Su composición hace que sean más fáciles de manipularlas. Debido a sus



características son las mejores para ser utilizadas en construcciones, también para producir papel, y pizarrones para fibras. Algunos ejemplos son: el pino, en todas sus variantes, el tejo, la sabina y el abeto.

Las coníferas se las conoce como madera **blanda**. Estas se caracterizan por tener poca resistencia, ser económicas, más fáciles de trabajar. Son de colores claros, aunque tienden a oscurecerse por la exposición al sol. A su vez las maderas blandas, se clasifican en:

- **Muy blandas:** como ejemplo se tiene la balsa.
- **Blandas:** aquí se tiene el abedul, entre otros

1.4. Características de la madera

Entre las características más importantes de la madera se tiene:

- Fácil de trabajar: Con la utilización de herramientas adecuadas puede tomar diferentes formas, sean estas rectas, circulares, cilíndricas, etc.
- Es un recurso renovable: Se encuentra en la naturaleza ya sea en bosques nativos o en bosques plantados
- Es biodegradable: La madera puede ser atacada por microorganismos como bacterias, hongos descomponiéndose y transformándose en fertilizante.
- Durabilidad. El contenido de agua en la madera afecta el grado de conservación, haciéndola susceptible al ataque de diversos agentes destructores. Los factores que facilitan o limitan el ataque de insectos u hongos son: humedad, aire y temperatura
- Impregnación. Cuya finalidad es aumentar la duración biológica de las maderas. Para esto se utiliza preservantes químicos.

1.5. Tipos de madera que predominan en la zona de Cuenca

En la zona de Cuenca y en general en la sierra ecuatoriana predominan las especies forestales mayormente plantadas, siendo estas el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y el pino en dos variedades (*Pinus Radiata* y *Pinus Patula*). Son especies de madera de rápido crecimiento que debido a la



facilidad de adaptación a climas y suelos son utilizados en diversos programas de reforestación. Son del tipo de madera conocida como coníferas. La madera obtenida es utilizada para la elaboración de pallets, muebles de hogar y en la industria de la construcción.

Del estudio de la madera se puede decir que la madera es una estructura compleja, que para su tratamiento y procesamiento debe conocerse su composición, estructura, propiedades y más de tal modo que se pueda obtener el máximo de beneficio en su procesamiento en los procesos productivos en la industria de la madera y mueble.

La madera es la materia prima en una industria de alto desarrollo en la ciudad de Cuenca ha sido necesario presentar su composición y características más relevantes. En el siguiente capítulo de este estudio se presenta la situación de la industria de la madera y mueble en el país y en Cuenca, para lo cual se analiza la cadena productiva, así como la influencia socio – económica de esta industria. Además se introduce el estudio del secado de la madera indicando las principales tecnologías, equipos, y fuentes de energía que se utilizan para dicho proceso.



Capítulo 2

2. INDUSTRIA DE LA MADERA Y MUEBLE

La ubicación geográfica del Ecuador, la presencia de la Cordillera de los Andes y la influencia de corrientes marinas, determinan que el Ecuador disponga de gran variedad de climas y formaciones vegetales, calificado como uno de los países de mayor biodiversidad del mundo. Parte de esta riqueza la constituyen sus bosques, en los cuales crecen alrededor de 5000 especies de arbóreas (Ministerio Industria y Productividad - MIPRO, 2012).

El 42.9 % de la superficie del Ecuador está cubierta con bosques, la superficie forestal del país es aproximadamente 11.6 millones de hectáreas de las cuales 99% es bosque nativo y 167000 hectáreas son plantaciones. Al momento las principales especies plantadas en el país son: eucalipto, pino, balsa, pachaco, teca, cutanga y laurel. Desde 1990 al 2010 los bosques Ecuatorianos se han reducido en un 28,6% con una pérdida promedio de 1,43 % anual. La tala de bosque es permanente, pero desde el 2005 al 2010 la tasa de deforestación ha disminuido en un 17 % comparada con el periodo previo de 5 años (Ministerio Industria y Productividad - MIPRO, 2012).

Ecuador, como país exportador de materia prima y productos con valor agregado, comercializa a nivel internacional, entre otros, los siguientes productos: contrachapados y listonados, madera bruta y balsa. Cabe destacar que Ecuador es uno de los primeros exportadores de balsa a nivel mundial. También está considerado en los primeros lugares de las exportaciones de tableros contrachapados en Sudamérica luego de Brasil y Chile, y, después de éste último país está ubicado como el segundo productor a nivel regional de tableros MDF.

Es importante mencionar la oferta de muebles de hogar y oficina, puertas, marcos de puertas y ventanas, pisos, anaqueles de cocina y otros, que impulsan diversas empresas transformadoras del país, siendo Cuenca, la ciudad donde se concentra la mayor proporción de producción nacional de muebles.



2.1. Situación de la industria en Ecuador y Cuenca

La industria maderera está representada por empresas con diferentes niveles tecnológicos para la elaboración de productos derivados de este sector. En el año 2014, el sector maderero exportó USD 344 millones de dólares y un total de 683 mil toneladas de madera, tableros, muebles, acabados para la construcción, elaborados de madera, papel y cartón (PROECUADOR, 2017).

La producción de madera es de aproximadamente 421 mil toneladas al año 2014 y está concentrada principalmente en variedades de madera fina, madera regular, madera para construcción y de pallets (estibas) y otros. Los principales países de destino de la madera ecuatoriana son: Estados Unidos, China, Colombia, Perú, Japón, Alemania, Dinamarca y México (PROECUADOR, 2017). Alrededor de 235,000 familias en el Ecuador se benefician directamente de esta actividad, otras 100,000 lo hacen indirectamente (Ministerio Industria y Productividad - MIPRO, 2012). De acuerdo a información entregada por el Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones (PRO ECUADOR) a lo largo de las últimas cuatro décadas en la Provincia del Azuay y en la ciudad de Cuenca en particular, se ha ido conformando un complejo artesanal-industrial muy interesante en torno a la actividad maderera en general y de fabricación de muebles en particular. La tradición artesanal y gran habilidad de la mano de obra de la región, explica la existencia de una apreciable cantidad de unidades económicas que van desde talleres artesanales, hasta unidades productivas, tipo PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas) e industrias grandes de manufactura de muebles de madera. En la Tabla 2.1 se indica la manera en que el Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO) ha clasificado a las empresas de acuerdo al número de empleados y por valor en ventas.

Tabla 2.1. Definiciones Oficiales por tamaño de la empresa, Ecuador

	Micro Empresa	Pequeñas Empresas	Medianas empresas	Grandes Empresas
Número de Empleados	De 1 - 9	10 – 40	De 50 - 199	De 200 y más
Valor de ventas anuales netas	Menores a \$100.000	Desde \$100.001 hasta \$1.000.000	Desde \$1.000.001 hasta \$5.000.000	Más de \$5.000.000
Activos	Hasta \$100.000	Desde \$100.001 hasta \$750.001	Desde \$750.001 hasta \$3.999.999	Más de \$4.000.000

Fuente: (Ministerio Industria y Productividad - MIPRO, 2012).

Según el Ministerio de Industrias Productividad Zona 6 (MIPRO) Cuenca y sus alrededores ha experimentado un importante desarrollo de la industria del mueble y la madera en los últimos 40 años, llegando a representar casi el 70 % de la producción nacional de muebles de madera (Ministerio Industria y Productividad - MIPRO, 2012).

De acuerdo al censo económico del 2010 (Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico , 2012), hay 712 establecimientos dedicados a la fabricación de muebles en la Región 6 (provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago); 482 de los cuales están localizados en la ciudad de Cuenca; de estos 482, cerca de 48 son PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas). Más de 3000 personas trabajan en este sector en Cuenca. Se ha estimado que Cuenca representa el 35% del consumo nacional de madera.

La industria de la madera y mueble de Cuenca se abastece principalmente de madera proveniente de bosques en formas y tamaños diferentes teniendo presentaciones de tablas, tablones y bloques mismos que por su origen no han sido tratados de forma adecuada y no pueden ser utilizadas para el procesamiento de partes y piezas y transformarlos en productos que tengan valor agregado tales como puertas, ventanas, sillas, camas, etc.

El acceso a la madera desde el bosque se lo realiza a través de intermediarios debido a que el fabricante de muebles no se involucra con el aprovechamiento forestal (tala de árboles en pie). Aproximadamente existen 17 intermediarios en Cuenca. Los aserraderos cumplen una rol importante por la forma en que realizan su actividad debido a que se proveen de madera a través de los intermediarios y de quienes realizan el aprovechamiento forestal directamente además brindan el servicio de secado de madera. Dependiendo de los requerimientos del cliente, la madera es entregada desde el bosque al cliente que puede ser el productor de muebles o pasa directamente por un aserradero en Cuenca para su subsecuente procesamiento (Corporación Andina de Fomento, 2013). En la Tabla 2.2 se indica a las empresas e intermediarios identificados en la ciudad de Cuenca.

Tabla 2.2 Empresas e Intermediarios Identificados en la ciudad de Cuenca

Empresa	Cantidad
Intermediarios	17
Aserraderos	5
Capacidad total de procesamiento (m3/mes) (Estimada)	1.250
Total de productores de muebles (2010)	482
Micro / pequeños productores de muebles	474
Fabricantes medianos	7
Fabricantes Medianos – Grandes	8
Cuenca	5
Fuera de Cuenca	3 (Quito 2 ; Guayaquil 1)
Exportadores de muebles	2
Productores informales de muebles	Mayores a 100
Empleo en el sector maderero (estimado)	3.000
Salas de exhibición y comercialización muebles	Información desconocida

Fuente: (Corporación Andina de Fomento, 2013)

De acuerdo al Estudio de Factibilidad Comercial, Social y Económica para la Instalación del Proyecto "CENTRO DE FOMENTO–INNOVACENTRO DE LA MADERA Y MUEBLE" COMO PROYECTO CLAVE DE LA CADENA REGIONAL PRODUCTIVA DE LA

MADERA, realizado en el año 2012 por la Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico EDEC EP en la ciudad de Cuenca la industria de la madera y mueble consume 4.205 metros cúbicos de madera al mes de diferentes especies entre las que se destacan maderas como Fernán Sánchez, Laurel, Seike, Canelo. En la Tabla 2.3 se ilustra las especies y cantidades de madera más utilizadas (Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico, 2012).

Tabla 2.3 Especies y cantidades de madera más utilizadas en Cuenca

No.	Especie	Total metros cúbicos	Porcentaje de consumo
1	Fernán Sánchez	2.522	59,98%
2	Laurel	608	14,47%
3	Colorado manzano	231	5,5%
4	Eucalipto	205	4,9%
5	Canelo	132	3,14%
6	Copal	87	2,06%
7	Seike	89	2,11%
8	Chanul	85	2,02%
9	Teca	73	1,73%
10	Encofrado	46	1,1%
11	Cedro	32	0,76%
12	Roble Marfil	26	0,62%
13	Sapelli	26	0,62%
14	Pino	13,6	0,32%
15	Copal Rosado	10.6	0,25%
16	Roble	7.9	0,18%
17	Seike Rojo	6,6	0,15%
18	Canelo Rojo/Amarillo	3,3	0,079%
19	Nogal	0,1	0,0023%
	TOTAL GENERAL	4205	100%

Fuente: (Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico , 2012)

Los participantes de la industria de la madera y muebles incluyen a propietarios de árboles, taladores, transportadores, intermediarios, aserradoras, fabricantes y sus locales de exhibición, minoristas independientes y sus locales de exhibición que venden productos de pequeños productores del área. Es importante notar,



sin embargo, que no ha habido una evaluación completa ni adecuada de los participantes del sector, por ejemplo, el caso de los taladores es un sector completamente informal y no se tiene registros que puedan ser validados.

2.2. Análisis de la Cadena de la Industria de la Madera y Mueble

La industria de los productos madereros está conformada de productos madereros primarios elaborados (PMPE) y de productos madereros secundarios elaborados (PMSE). Los fabricantes de PMPE son principalmente plantas que producen madera aserrada, tableros contrachapados, tableros fibra de densidad media/MDF, de partículas, contrachapados), pulpa y papel. La industria maderera de procesamiento secundario añade valor a los productos madereros básicos. Los PMSE son diversos e incluyen madera re-aserrada o tratada a presión, molduras y muebles. En el proceso de añadir valor, la fabricación de PMSE, consume madera aserrada, tableros chapados y/o paneles producidos por la industria primaria al igual que otros químicos, espuma, textiles, cuero y metal, para crear productos acabados o semi acabados (Corporación Andina de Fomento, 2013).

La cadena de la madera y mueble está conformada por varios sectores que son: Forestal, aserraderos, contrachapados, fábricas de tableros de partículas y MDF, construcción, industria de muebles.

Sector Forestal.- La mayor parte de los bosques de producción, son controlados por comunidades indígenas y/o pequeños productores agroforestales, los que en su mayoría no se encuentran inmersos en procesos sostenibles de extracción maderera, ni capacitados en manejos micro- empresariales.

Es importante considerar que entre los bosques con potencial de producción existen, de acuerdo a análisis estimativos realizados por el Ministerio del Ambiente (MAE), alrededor de 1.500.000 hectáreas de bosques secundarios. El potencial representado por los bosques secundarios no ha sido adecuadamente considerado y, es necesario crear mecanismos apropiados para que se conviertan en un significativo capital forestal en términos económicos, sociales y ambientales.



Aserraderos.- No existen actualmente en el país aserraderos con maquinaria y equipos con tecnología de última generación. Existe una reducida cantidad de aserraderos pequeños con máquinas aserradoras propiamente dichas. En realidad la producción de madera aserrada depende enteramente del aserrado de una gran cantidad de motosierristas quienes son los que realizan el trabajo de tala de los árboles. La producción anual de madera aserrada es estimada en 750 mil metros cúbicos. La principal fuente de materia prima de los aserraderos es el bosque nativo. No se tiene información detallada, pero se estima que esta madera tiene el siguiente uso final en términos aproximados (Ministerio Industria y Productividad - MIPRO, 2012):

- 150.000 m³: paletas para bananeras;
- 200.000 m³: madera de construcción, incluso madera para encofrado;
- 200.000 m³: para la industria de muebles, pisos, puertas y marcos;
- 200.000 m³: para la industria de balsa y usos diversos.

Se puede decir que la calidad de madera aserrada producida es baja, lo cual incide directamente en forma negativa en el tratamiento de la madera, y por consiguiente en la industria de productos secundarios elaborados (Ministerio Industria y Productividad - MIPRO, 2012).

Contrachapados.- Al contrario de la situación en los aserraderos, la industria ecuatoriana de contrachapados puede ser considerada innovadora en tecnología. Esto se puede verificar en los tipos de máquinas usadas, en la distribución de la maquinaria en las fábricas, en el flujo interno del producto y en el control interno de la calidad.

Toda la materia prima es proveniente de bosques tropicales ubicados, en su mayoría, en la costa (Esmeraldas, Los Ríos). Este sector de la industria de la madera tiene pocos problemas técnicos, se ha observado rigurosos sistemas de control de calidad del producto terminado.

Hay cinco fábricas de contrachapado en operación en el país entre las que se destacan Novopan del Ecuador S.A, Arboriente S.A, Codesa, Edimca, Aglomerados Cotopaxi. La producción actual de esas fábricas es cerca de



120.000 m³ al año. Toda producción es basada en madera proveniente de bosques nativos (Ministerio Industria y Productividad - MIPRO, 2012).

Fábricas de Tableros de Partículas y MDF.- Este sector se provee de una materia prima uniforme proveniente de plantaciones de pino y eucalipto de la región de la sierra ecuatoriana, un equipo moderno y un control de calidad riguroso del producto final en sus propios laboratorios hace que los tableros sean considerados como de alta calidad y con esto se han ganado nichos de mercado en el exterior.

Parte de la producción de la industria de tableros de partículas y MDF es transformada en tableros revestidos con papeles melamínicos y chapas de madera.

Sector de la Construcción.- El uso de la madera en la industria de la construcción en Ecuador es limitado. Las posibles razones pueden ser: los constructores en general no tienen suficientes conocimientos de la madera en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas y como material de construcción; los sectores de la sociedad, tiene una cierta aversión a las casas de madera, la madera, como resultado de una industria ineficiente, no es un producto competitivo en el mercado local (Ministerio Industria y Productividad - MIPRO, 2012)

Industria de muebles.- Esta industria es cuantitativamente, aunque no siempre cualitativamente, el sector más importante de la industria maderera secundaria en Ecuador, incluyendo desde talleres hasta fábricas. Este sector presenta dos segmentos de producción bien definidos: producción de muebles modulares en donde principalmente utilizan como materia prima tableros de partículas y se los puede llamar como fábricas de muebles modulares, y los que utilizan madera sólida como materia prima y se los puede llamar talleres y fábricas de muebles.

2.4. El Secado de la madera

Por su origen vegetal la madera posee un alto contenido de humedad la cual afecta a varios procesos y etapas de producción, así por ejemplo, el agua de la



madera se interpone entre la cola y el barniz, dificultando la realización de estos procesos (Vignote, 2006). El secado de la madera es una etapa importante en el proceso productivo en la industria del mueble y la madera, en donde a través de la eliminación del exceso de agua se consigue estabilidad en las propiedades físicas de la materia prima para luego ser procesadas de tal forma que permita obtener un producto final con valor agregado.

2.4.1. Conceptos básicos del secado

Para comprender el mecanismo de secado de la madera se indica a continuación algunos conceptos relacionados con propiedades físicas de la madera entre los que se tiene.

Velocidad de circulación del agua en el interior de la madera

Se entiende que la humedad de las células de la madera es diferente la una de la otra, esto origina la presencia del fenómeno de difusión del agua entre las células con la tendencia a igualar el contenido de humedad. Esta velocidad de circulación de agua depende de factores como:

- Grueso de las pared celular, esto es a mayor grosor menor velocidad de difusión
- Temperatura, esto es a mayor temperatura se incrementa el movimiento de las moléculas de agua y por consiguiente mayor velocidad de difusión lo que acelera el proceso de secado
- La presión de aire o de vacío aumenta el movimiento de las moléculas y con ello la velocidad de difusión y del proceso de secado (Vignote, 2006).

Contenido de humedad

El contenido de humedad presente en una madera se expresa como la relación porcentual del peso de madera con agua respecto al peso seco de madera.

$$CH = \frac{\text{PESO DE MADERA CON AGUA}}{\text{PESO DE MADERA SECA}} \times 100$$



El agua puede encontrarse en la madera en tres formas diferentes:

- Agua Libre (Llenando las cavidades celulares)
- Agua Higroscópica (impregnando las cavidades celulares)
- Agua de Constitución (Integrante de la pared celular en combinaciones químicas). (Calderón, 1993)

Los dos primeros tipos de agua (agua libre y agua higroscópica) se encuentran en el interior de las cavidades celulares ya sea llenando o impregnando las mismas, por lo que son de fácil y rápida eliminación; en tanto que el tercer tipo de agua (agua de constitución) por ser parte integrante de la pared celular es de difícil eliminación produciendo cambios evidentes de la madera cuando ésta es eliminada. Por lo tanto se puede entender que en el proceso de secado existen dos etapas bien definidas, en donde la primera etapa llega hasta eliminar el agua libre y la segunda cuando se elimina el agua de constitución.

El equilibrio higroscópico: Es el grado de humedad que tiene la madera en equilibrio con condiciones determinadas de temperatura y humedad del aire. El tipo de madera tiene poca influencia sobre los valores de equilibrio higroscópico. Cuando una madera ha logrado este equilibrio en el lugar geográfico en que ha sido secado al aire, se dice que es madera estacionada. Como las condiciones ambientales de cualquier lugar varían constantemente, la humedad sigue las fluctuaciones del medio ambiente, es por ello que el valor de equilibrio higroscópico de una madera, debe ser referido al lugar y época del año. (Calderón, 1993)

Gradiente de Humedad

El secado de la madera al ser un fenómeno superficial hace que se produzca una diferencia o gradiente de humedad entre el exterior más seco y el interior de la madera (Vignote, 2006)

El punto de saturación de las fibras: Es el porcentaje de agua en el cual se ha desalojado toda el agua libre y comienza a evaporarse el agua que satura las paredes celulares. Según la especie de madera, este valor fluctúa entre el 25 y el 40%. Su determinación presenta gran interés, pues a partir de ese instante



comienzan las contracciones de la madera, e indica condiciones especiales de la madera en lo relativo a la resistencia mecánica. (Calderón, 1993).

Concepto de sorción de la madera

Una madera completamente seca, puesta en contacto con vapor de agua, lo admitirá hasta que se produzca entre ambos un estado de equilibrio. Este fenómeno generalmente extendido a todos los cuerpos porosos, se denomina sorción. Dentro de la sorción debemos distinguir dos procesos: la Adsorción se refiere a la capacidad de captar humedad (hinchamiento de la madera); y la Desorción, que es la pérdida o eliminación de humedad en la madera (contracción de la madera) (Calderón, 1993).

Es necesario comprender que el agua presente en el interior de la madera se mueve o elimina desde las zonas de mayor humedad (interior) hacia las de menor humedad (exterior) por lo que se puede decir que la madera se seca de dentro hacia afuera, esto se puede confirmar observando la superficie de una madera cuando está en contacto con el aire las puntas de la madera tienden a estar más secas.

2.5. Tipos de secado de la madera

Existen dos formas de secar la madera: La primera es el secado natural o al aire libre, en donde el agua que contiene la madera se evapora en forma natural, y la segunda es el secado artificial mediante el empleo de equipos e instalaciones adecuados conocidos como hornos o secadores de madera, en donde se elimina el agua controlando parámetros como temperatura, humedad, y ventilación.

2.5.1. Secado natural

Secado natural es el más elemental de los procesos de secado en donde se expone la madera al ambiente circundante y el agua que contiene la madera se elimina mediante evaporación en forma natural merced a la temperatura, humedad y circulación del aire del medio ambiente. Este método en todo momento depende de las condiciones climáticas y ambientales del lugar donde se lleva a cabo el secado.

Este sistema en términos de consumo de energía es económico debido a que al aprovechar la energía solar esta no tiene un costo de adquisición, pero como el tiempo empleado es largo, se requiere tener inventarios de madera que pueden llegar a ser grandes, lo cual eleva los costos de producción.

Para que se produzca el secado natural la madera debe ser apilada de tal forma que la circulación de aire este en contacto con toda la superficie de la madera. En la Figuras 2.1 se puede observar algunas de las formas de apilar la madera para el secado natural

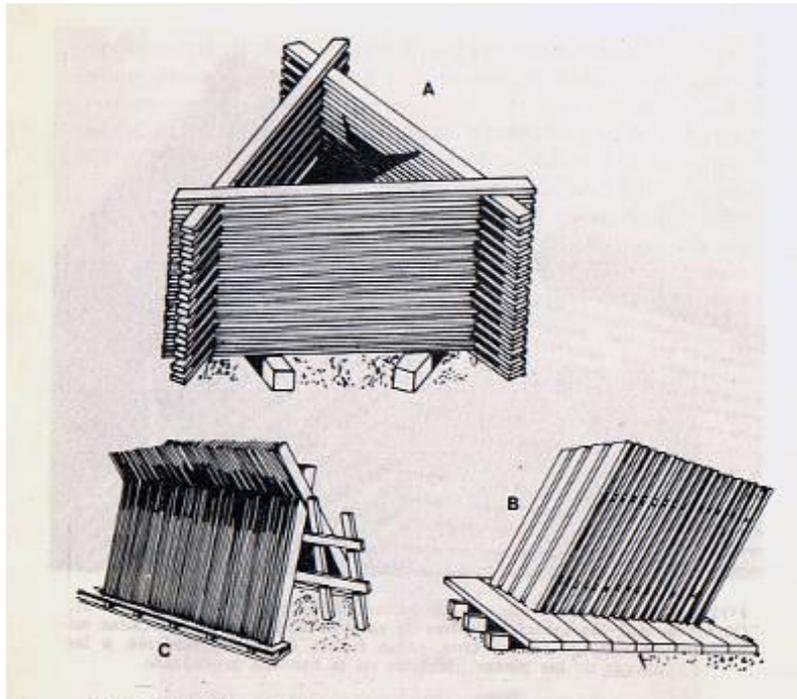


Figura 2.1 Encastillado para secar madera en forma natural (Calderón, 1993)

Sistemas Especiales de apilado:

A.- Encastillado en triángulo hueco

B.- En Vertical

C.- En X

Comparado con el secado artificial, el secado natural presenta las siguientes ventajas y desventajas (Calderón, 1993):

Ventajas:

- Reducido monto de inversión
- Escasos gastos de mantenimiento y funcionamiento.
- No requiere personal capacitado.

**Desventajas:**

- Prolongados tiempos de secado
 - Baja rotación de inventarios de madera
- Elevado costos financieros por capital inmovilizado.
- El secado de la madera llega hasta el equilibrio higroscópico correspondiente al lugar.
 - No se pueden corregir defectos que aparecen durante el secado

2.5.2. Secado artificial

Consiste en elimina el agua mediante el control de la temperatura, humedad y ventilación. El secado artificial se lo realiza al interior de secadores convencionales que constan de una cámara de secado en donde, por el uso de equipos adecuados, se incrementa la temperatura interior calentando el aire, mediante el uso de ventiladores se hace circular el aire caliente a través de la pila de madera con lo cual se calienta la madera y debido a un gradiente de temperatura se produce el secado (Calderón, 1993).

El proceso de secado artificial, debe garantizar el cumplimiento de características químicas y físicas específicas, como por ejemplo, un contenido de humedad definido, no debe causar daños a la madera, al mismo tiempo de impedir el ataque de hongos y algunos insectos xilófagos. Entre las ventajas de los métodos artificiales sobre el secado natural puede incluirse la disminución del tiempo de secado y el menor riesgo de rajaduras y agrietamientos. Por estas razones el secado artificial de madera es una de las técnicas más importantes del proceso de preparación de madera para la manufactura, tendiente a obtener productos finales con alta calidad.

Entre las limitaciones que presenta el secado artificial se puede indicar factores como, elevada inversión de maquinaria y equipos, alto costo de operación, reducida disponibilidad de mano de obra calificada para operar estos equipos y complejos sistemas de control de humedad de la madera, de temperatura y humedad relativa de la cámara de secado (Salas, 2008).



El secado artificial permite obtener diferentes niveles de contenido de humedad según sea los requerimientos del producto final que se ha de fabricar, así en la Tabla 2.4 se presentan algunos valores expresados en porcentaje de contenido de humedad para maderas utilizadas en diferentes usos.

Tabla 2.4 Contenido final de humedad de las maderas de acuerdo al destino o empleo

Uso	Porcentaje de humedad
Envases para frutas	20%
Muebles en general	10%
Pisos – Parquet	10%
Cabos y mangos para herramientas	9%
Instrumentos musicales	8%
Reglas – escuadras	7%
Construcciones navales	12%
Tornería	12%
Madera compensada	6%

Fuente: (Calderón, 1993).

Etapas del Proceso de secado artificial:

Cuando se seca madera en secadores convencionales existen etapas en el proceso de secado, que son aplicables a todas las especies de madera y estas son:

- Etapa de calentamiento
- Etapa de secado
- Etapa post – secado

Etapa de calentamiento: En esta etapa se debe cumplir dos objetivos, el primero es alcanzar las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire dentro de la cámara de secado y el segundo es homogenizar la temperatura de toda la carga de madera, así como homogenizar el contenido de humedad inicial de la carga de madera.

Etapa de secado: En esta etapa se tiene como objetivos alcanzar el contenido de humedad establecido en el menor tiempo posible y obtener el contenido final homogéneo en toda la carga y menor cantidad de defectos.



Etapa de Post – secado: En esta etapa se realizan tres tratamientos:

1) Tratamiento de Igualación en donde el objetivo es homogenizar el contenido de humedad de toda la madera que componen la carga. Este tratamiento se inicia cuando la tabla más seca tiene 2% de contenido de humedad menos que el contenido de humedad final deseado y termina cuando la tabla más húmeda alcanza el contenido de humedad final deseado. El contenido de humedad de equilibrio deberá ser igual al contenido de humedad de la tabla más seca.

2) Tratamiento de Acondicionamiento que tiene dos objetivos, reducir o eliminar las tensiones de secado entre la superficie y el interior de la pieza y homogeniza el contenido de humedad en el espesor de la pieza.

3) Tratamiento de enfriamiento en donde una vez finalizado el secado y realizados los tratamientos anteriores, es conveniente enfriar la madera dentro de la cámara para evitar el riesgo del re establecimiento de las tensiones de secado. (Muñoz, 2008).

2.6. Secadores de madera convencionales

Los secadores convencionales son equipos en donde se realiza el secado artificial de la madera.

Los secadores convencionales están constituidos por (Calderón, 1993):

- Cámara de secado.
- Sistema para calentamiento de aire
- Sistema de humidificación
- Equipo para circulación de aire
- Instrumentos para regulación y control de las condiciones ambientales al interior del secador.

Existen varios tipos de secadores convencionales y se los puede clasificar de acuerdo a la distribución y funcionamiento, clasificándose en:

- Hornos tipo Túnel o Progresivos
- Hornos tipo Compartimiento o Estáticos (Calderón, 1993).

Horno Túnel o Progresivo:

Está constituido por una cámara de secado larga en forma de túnel a través de la cual se hace circular la madera a lo largo de la cámara en un tiempo determinado. El proceso de secado consiste en hacer circular una corriente de aire que circula a través de la madera en dirección contraria al desplazamiento de la madera. En el extremo por donde se introduce la carga, el aire es más frío y húmedo, en tanto que a la salida de la cámara el aire es más seco y caliente. Este tipo de horno resulta difícil de controlar en sus factores ambientales y se recomiendan para piezas de madera relativamente cortas. (Calderón, 1993). En la Figura 2.2 se muestra el croquis de un secador convencional tipo túnel.

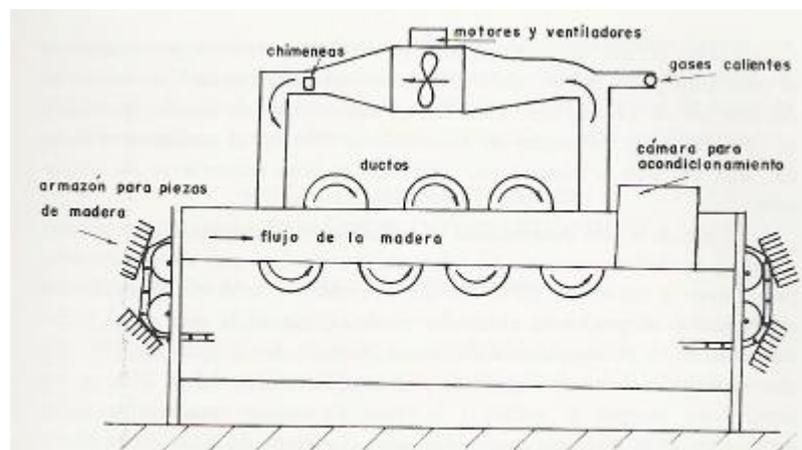


Figura 2.2 Croquis de un Secador Convencional Tipo Túnel (Calderón, 1993)

Horno de Compartimiento o Estático

En este tipo de horno la madera es colocada al interior de la cámara de secado en forma de pilas de madera, por lo tanto la carga de madera permanece estática durante todo el proceso de secado. Son los más utilizados en nuestro medio. En las Figuras 2.3 y 2.4 se muestra un secador convencional estático.

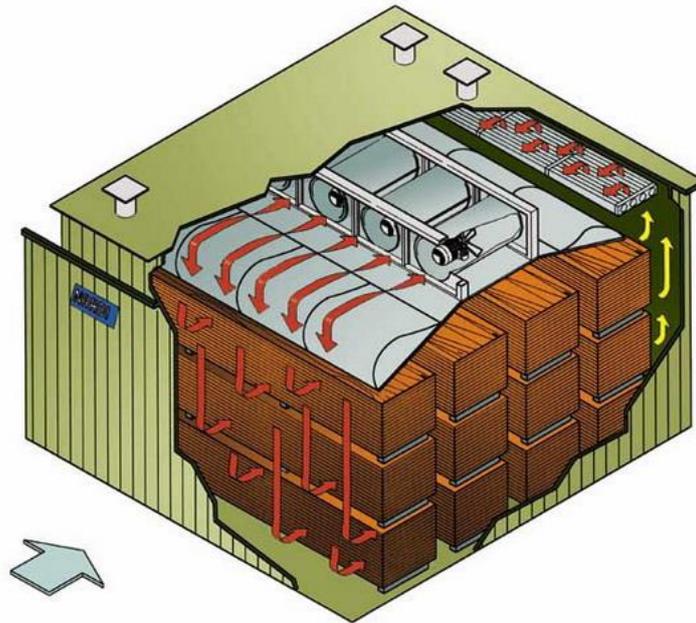


Figura 2.3 Horno Convencional Estático (Nardi, 2017)

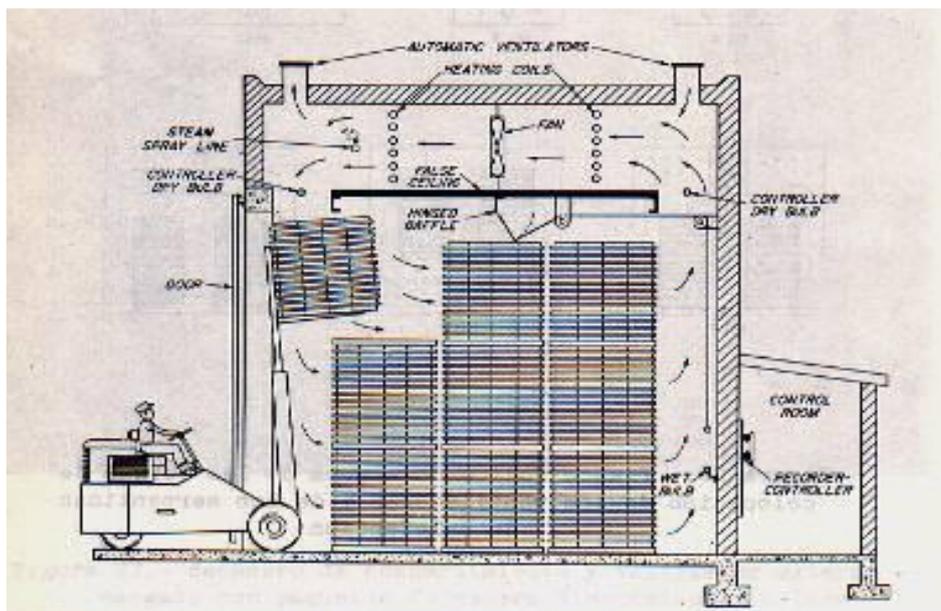


Figura 2.4 Secador Convencional de Compartimento Estático (Calderón, 1993)

Se debe considerar que los secadores convencionales para su funcionamiento utilizan combustible de origen fósil (diésel, gas licuado de petróleo) y/o biomasa residual, e incluso funcionan a base de energía eléctrica. De visitas realizadas a fábricas y aserraderos de la ciudad de Cuenca, que tienen secadores convencionales se ha observado que el combustible más utilizado para el



funcionamiento de este tipo de secadores es el diésel, seguido por aquellos que utilizan biomasa residual (aserrín, desperdicios de madera).

El secado artificial también se lo realiza mediante el uso de secadores solares en donde se aprovecha la energía solar para su funcionamiento.

Del estudio de este capítulo se puede decir que la industria de la madera y mueble por su desarrollo a través de los años, en la ciudad de Cuenca tiene una importancia marcada, debido a que genera una considerable cantidad de empleos directos contribuyendo al desarrollo socioeconómico no solo de la ciudad sino de la región y el país en general.

En el siguiente capítulo se presenta un estudio de la energía solar, su principio de funcionamiento y sus aplicaciones, en donde podemos encontrar el uso de secadores solares y los tipos más utilizados de esta clase de secadores para madera. Encontraremos también la comparación de un secador solar versus un secador convencional analizando los tiempos de secado de cada uno de ellos.



Capítulo 3

3. LA ENERGÍA SOLAR Y SUS APLICACIONES

La energía solar es la que llega a la tierra en forma de radiación electromagnética procedente del Sol (Newtoncnice, 2017). La cantidad de energía solar que puede aprovecharse en un punto determinado depende de factores como día del año, hora, ubicación y orientación del dispositivo receptor de energía.

La influencia que tiene esta energía sobre la Tierra que casi todas las formas energéticas conocidas de una u otra manera tiene su origen en la energía solar. Existen dos tipos de tecnologías para aprovechar la energía solar, la una es la energía solar pasiva y la segunda es la energía solar activa la misma que se subdivide en térmica y fotovoltaica. (Vásquez Calero, 2015)

Energía Solar Pasiva: Consiste en el aprovechamiento de la energía solar de forma directa sin la necesidad de transformarla en otro tipo de energía, para su utilización inmediata o para su almacenamiento sin el aporte de sistemas mecánicos externos de energía (Vásquez Calero, 2015). La energía solar pasiva conocida también como bioclimática se basa en el diseño, en los materiales de la construcción, y en el aprovechamiento de los recursos naturales (energía solar, viento). La cantidad de energía solar que puede ser aprovechada depende de factores como diseño y localización de la instalación, control, agentes atmosféricos, calidad de los materiales y equipos utilizados en las instalaciones. La instalación de este tipo de energía es relativamente sencilla, de fácil mantenimiento y no requiere de grandes inversiones.

Energía Solar Activa: La energía solar activa consiste en captar y aprovechar la energía procedente del sol utilizando equipos que concentran y transforman la energía en calor y en algunos casos generan energía eléctrica (Vásquez Calero, 2015). La energía solar activa se subdivide en térmica y fotovoltaica mismas que serán estudiadas más adelante.

Por captación térmica entendemos a la transformación de energía solar en calor, aumentando la temperatura de un fluido de trabajo, y, almacenando dicha



energía térmica en el mismo fluido de trabajo de los colectores (Mogrovejo, 2011).

3.1. Características de la Energía Solar

La característica más significativa que posee la energía solar es que es una fuente energética inagotable, es considerada como limpia debido a que no genera gases de efecto invernadero por lo que se puede decir que el impacto ambiental es prácticamente nulo, no tiene costo cuando llega hacia nosotros. Sin embargo, la utilización de la misma requiere de un desarrollo científico y la superación de dificultades económicas, institucionales y técnicas.

3.1.1. La radiación solar

La radiación solar se desplaza a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarrojo y ultravioleta) que llevan asociada una determinada cantidad de energía.

Esta radiación determina el balance energético de la tierra, desempeña un papel importante en los procesos naturales como evaporación del agua, la humedad del aire y suelo; además es aprovechada en actividades humanas como la agricultura y su actual uso en la conversión de esta energía en fotovoltaica y térmica (Samaniego, 2015). En la Figura 3.1 se puede observar el mapa de energía solar mundial.

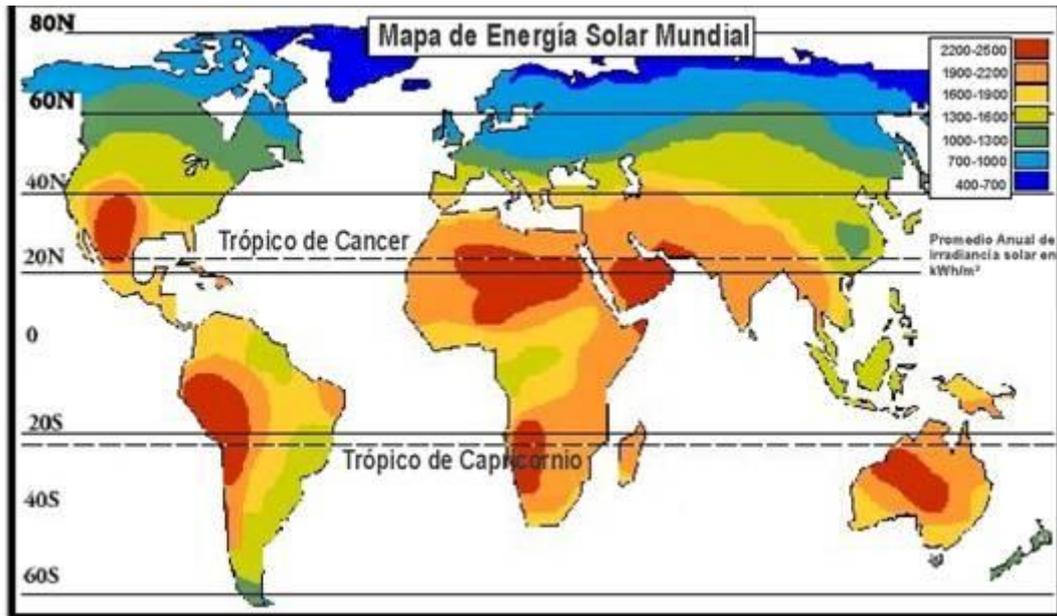


Figura 3.1 Mapa de Energía Solar Mundial en kWh/m² (Samaniego, 2015).

3.1.2. Radiación solar global

Conocida también como Radiación Global Terrestre es toda la radiación que incide sobre la superficie de la Tierra, por tanto es la suma de la radiación difusa y la radiación directa (Orellana, 2015).

3.1.3. Radiación solar directa

Es la fracción de radiación solar que llega directamente desde el sol con una trayectoria definida. Depende de factores como latitud, día del año y hora del día (Orellana, 2015), es decir es la radiación que incide directamente del sol.

3.1.4. Radiación solar difusa

Es la radiación dispersada por los agentes atmosféricos (nubes, polvo, etc.), es decir no tiene una trayectoria definida, producto de la absorción, absorción, y reflexión ocasionado por los gases, nubes, etc. que se encuentran presentes en la atmosfera (Orellana, 2015).

En la Figura 3.2 se puede apreciarlos diferentes clases de radiación solar terrestre

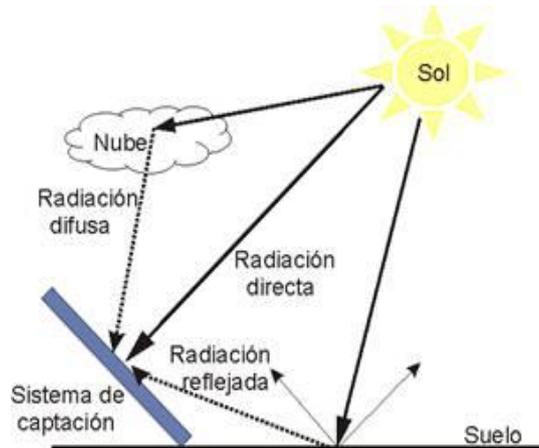


Figura 3.2 Clases de Radiación Solar Terrestre (Pacco, 2010)

De la Figura 3.2 se concluye que la radiación global es el resultado de la sumatoria de la Radiación directa más la radiación difusa más la radiación reflejada misma que se puede expresar mediante la ecuación que a continuación se detalla.

$$\text{Radiación global} = \text{Radiación directa} + \text{Radiación difusa} + \text{Radiación reflejada}$$

3.2. Energía Solar Fotovoltaica

El principio fundamental se basa en la absorción de fotones (partícula de luz, portadora de todas aquellas formas de radiación electromagnética) que inciden en un determinado material cediendo una cantidad suficiente de energía para que los electrones adquieran movimiento, y por ende una corriente eléctrica. En la Figura 3.3. se observa el funcionamiento de una célula solar.

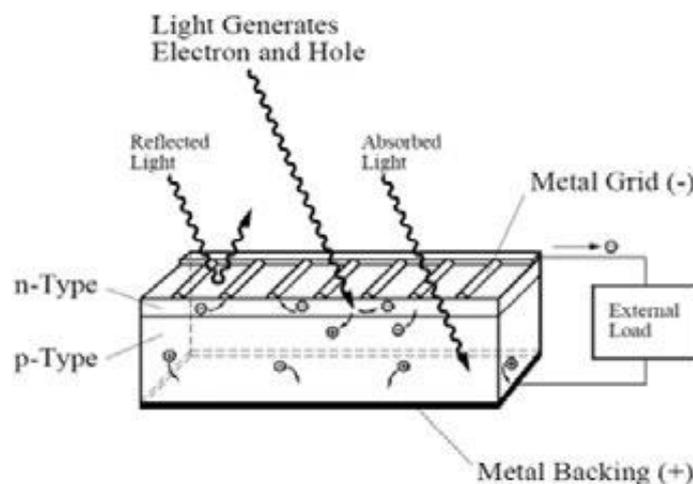


Figura 3.3 Funcionamiento de una célula solar (Vásquez Calero, 2015)

La tecnología solar fotovoltaica consiste entonces en la conversión directa de la radiación del Sol en electricidad, conversión que se realiza a través de los módulos o generadores fotovoltaicos. El generador fotovoltaico, está generalmente formado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo, a su vez cada módulo fotovoltaico está formado por unidades básicas llamadas células fotovoltaicas o células solares (Vásquez Calero, 2015). En la Figura 3.4 se puede apreciar un panel solar fotovoltaico

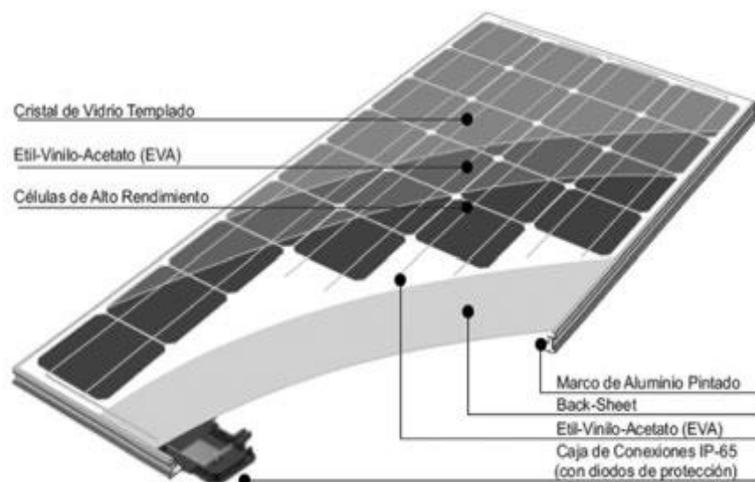


Figura 3.4 Panel solar fotovoltaico (Vásquez Calero, 2015).

Para aplicaciones a pequeña escala, los equipos que componen un sistema fotovoltaico son el generador fotovoltaico, el regulador de carga, un inversor de corriente, sistemas de acumulación o baterías y equipo diverso para mantener estables los sistemas de seguridad y medición. En la Figura 3.5 se aprecia la estructura básica de un sistema fotovoltaico autónomo.

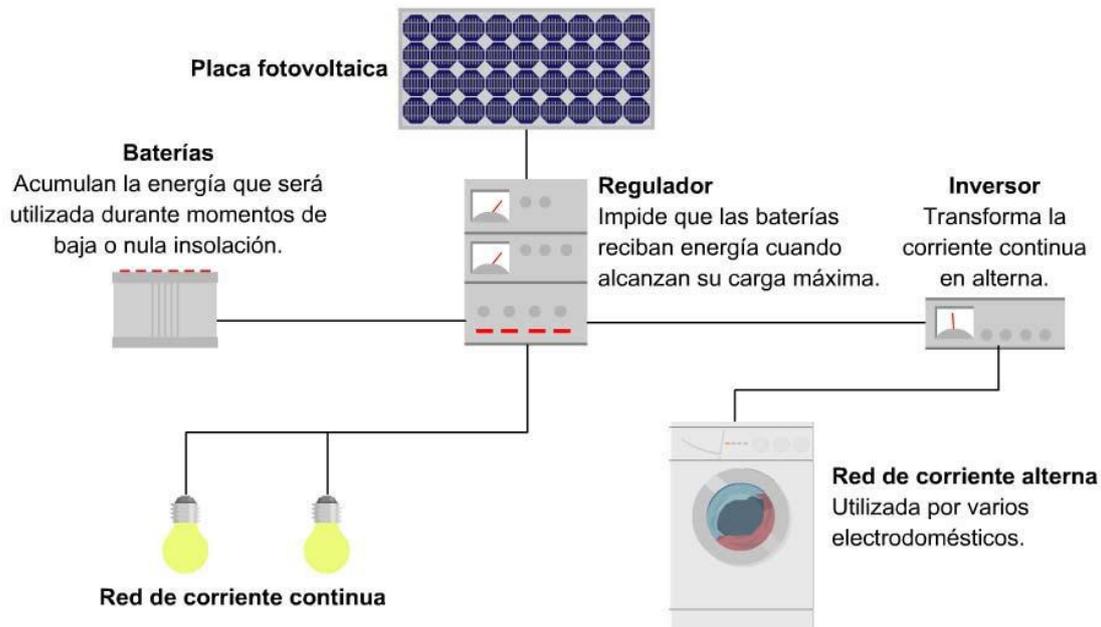


Figura 3.5 Estructura de un sistema fotovoltaico autónomo (Mogrovejo, 2011)

3.2.1. Principales aplicaciones

Las instalaciones solares fotovoltaicas se las puede clasificar de acuerdo a la forma en que serán aplicadas, así se tiene aplicaciones autónomas y aplicaciones conectadas a la red.

Aplicaciones Autónomas: Son aquellas que producen electricidad sin ningún tipo de conexión a la red eléctrica con la finalidad de entregar energía en el lugar donde se encuentren instaladas, por ejemplo en la industria aeroespacial, diseño y fabricación de vehículos propulsados mediante energía solar, así como barcos y aviones.

Sistemas conectados a la red: En este tipo de aplicaciones el sistema fotovoltaico instalado entrega a la red la energía eléctrica que genera. En la figura 3.6 se puede apreciar un esquema de instalación fotovoltaica conectada a la red.

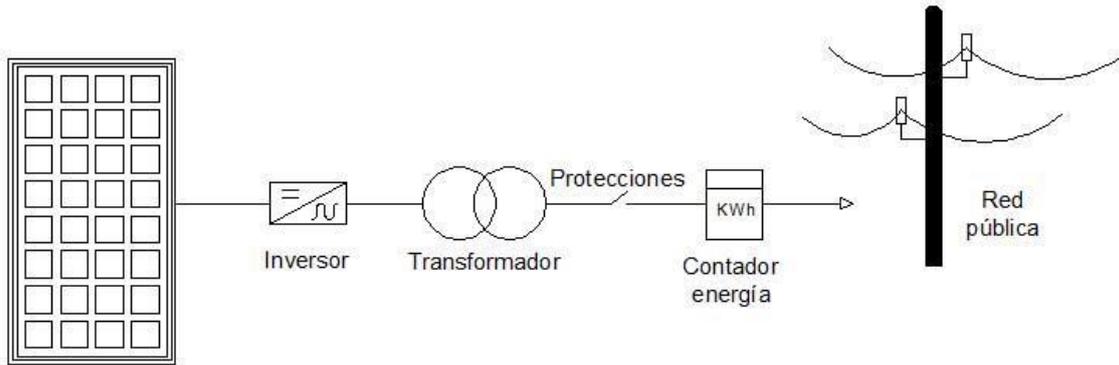


Figura 3.6 Instalación fotovoltaica conectada a la red (Mogrovejo, 2011).

En este tipo de aplicaciones se distinguen:

- Centrales fotovoltaicas
- Edificios fotovoltaicos

Sistemas aislados de la red: Estos sistemas se aplican principalmente para viviendas en zonas en donde no existe red pública. Presenta dos tipos de sistemas, el uno en el cual no se utiliza acumuladores de energía y su uso estaría limitado únicamente en momentos de radiación solar y otro mediante la utilización de acumuladores de energía garantizando el uso continuo del sistema sin depender únicamente de los momentos de radiación solar. En la Figura 3.7 se muestra las instalaciones fotovoltaicas para viviendas aisladas de la red.

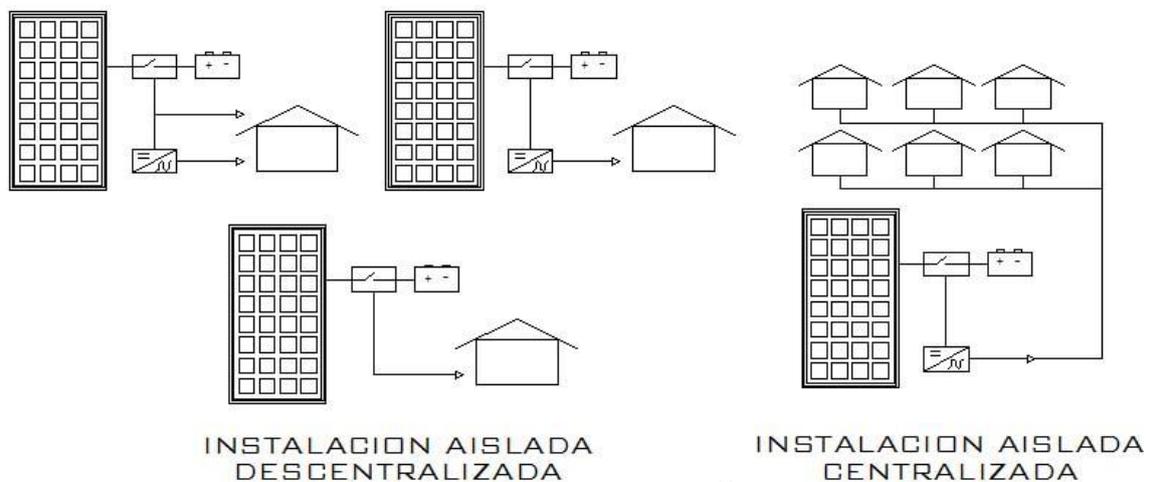


Figura 3.7 Instalaciones fotovoltaicas para viviendas aisladas de la red (Mogrovejo, 2011).

3.3. La Energía Solar Térmica

La energía solar térmica transforma la radiación del Sol en calor para calentar un fluido de trabajo. La conversión de la radiación solar en calor se la realiza mediante el uso de equipos diseñados para cumplir con esta función llamados colectores solares. El sistema solar térmico inicia su funcionamiento cuando el colector capta los rayos del sol, absorbiendo su energía en forma de calor, a través del colector pasa un fluido de manera que parte del calor absorbido es transferido al fluido el cual incrementa su temperatura.

Componentes de una instalación solar térmica

Una instalación solar térmica está compuesta de varios sistemas entre los que se tiene:

- Sistema de Captación
- Sistema de Distribución
- Sistemas Almacenamiento
- Sistema de Apoyo Convencional

Para el caso de estudio nos centraremos en los sistemas de captación.

Sistema de captación.- Este sistema es parte fundamental de una instalación solar térmica. Se ha diseñado diferentes versiones de captadores solares con el propósito de incrementar cada vez más la absorción de energía. Los sistemas de captación está conformado por los colectores solares y de acuerdo a la cantidad de energía que capten y a las temperaturas de trabajo que pueden alcanzar se clasifican en:

- Captadores de baja temperatura
- Captadores de media temperatura
- Captadores de alta temperatura

Captadores de baja temperatura: Se utilizan para obtener temperaturas menores a 100 °C. Se emplean los captadores planos (cobre o aluminio) o de

tubos de vacío, entre sus aplicaciones se destacan: calentamiento de agua para uso doméstico y sanitario, calefacción, climatización, y refrigeración.

Captadores de media temperatura. Aplicados para obtener temperaturas entre 100 y 250 °C. Utilizan los concentradores estacionarios y los canales parabólicos. Utilizados en plantas de generación eléctrica, esto se logra al calentar un gas produciendo vapor el cual mueve las turbinas que generan la electricidad.

Captadores de alta temperatura. Utilizados cuando se requiere obtener temperaturas superiores a los 500 °C, se usan para generar electricidad. Existen tres tipos principales: de plato parabólico, de canal parabólico y los sistemas de torre central. El principio de funcionamiento consiste en conducir el fluido hacia calderas de vapor y a través de estas mover las turbinas que generan energía eléctrica. En la Figura 3.8 se puede apreciar los captadores solares para temperaturas media y alta.

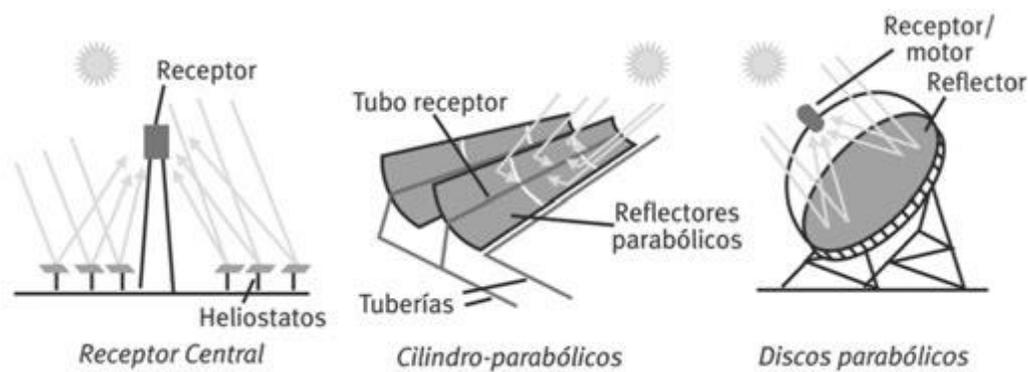


Figura 3.8 Captadores solares para temperaturas media y alta (Vásquez Calero, 2015).

3.3.1. Principales aplicaciones

La energía solar térmica por sus características tiene una importante variedad de aplicaciones entre las que se destacan producción de agua para uso doméstico, sanitario, refrigeración, calefacción, para climatización de piscinas así como en procesos de uso industrial. Las aplicaciones agrícolas son amplias, por ejemplo en invernaderos solares, etc. (IDEA (Instituto para la Diversificación de Ahorro de la Energía), 2006).



3.4. Los secadores solares de madera

Los secadoras solares son cámaras que tienen la capacidad de almacenar el calor generado por la incidencia de los rayos solares sobre un colector de temperatura, de tal forma que el calor generado sea útil en el proceso de secado de la madera (Salas, 2008).

Un secador solar de madera está conformado por dos partes: la primera consta de, un colector de energía solar, ventiladores, ventilas y desviadores de aire y es la responsable de que el aire se caliente y la segunda es el área de apilado de la madera que se requiere secar. Su funcionamiento inicia cuando los rayos solares inciden sobre el colector solar, el cual capta la energía de radiación y la convierte en energía térmica calentando el aire que se encuentra dentro de la cámara de secado. Se genera un flujo de aire producido por ventiladores internos que transportan el aire caliente hasta la madera (Revista Chapingo, 2003).

El secado de la madera se realiza por el paso permanente del aire caliente a través del material originando un intenso proceso de intercambio de calor y masa, durante el cual la humedad superficial de la madera se incorpora al aire por evaporación. Con la ayuda de un ventilador y un sistema de conductos de distribución el aire circula a una velocidad definida sobre el producto que se está secando, esto hace que la humedad relativa del producto disminuya y la del aire aumente hasta que sea necesario renovar el aire para mantener un gradiente de humedad y asegure la continuidad del proceso. En la Figura 3.9 se muestra el proceso general de secado realizado al interior de un secador solar para madera.

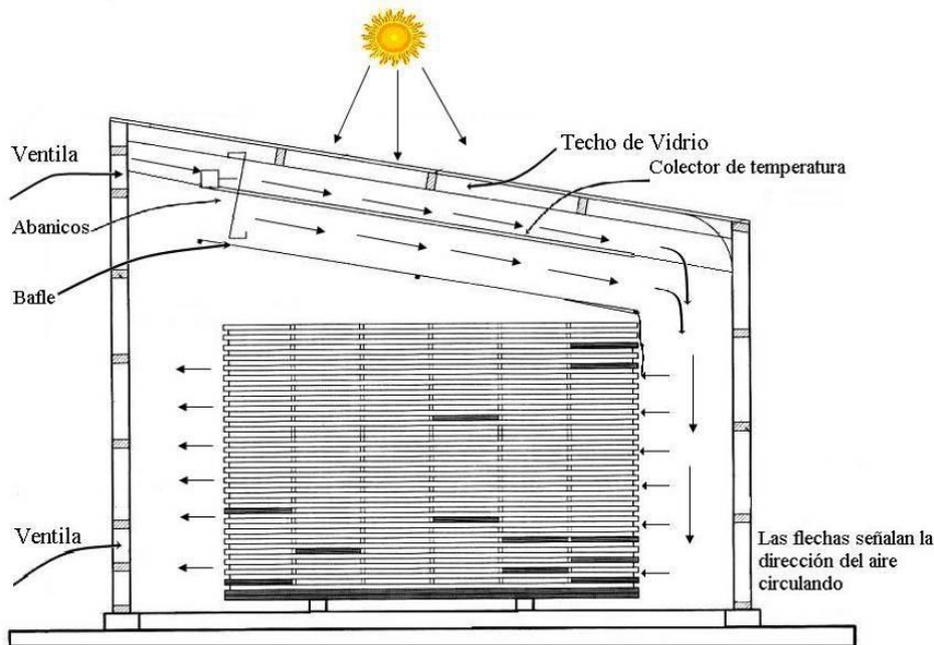


Figura 3.9 Proceso general de secado de un secador solar para madera (Salas, 2008).

La renovación de aire se asegura mediante un dispositivo de control de la humedad del aire que acciona el arranque o parada de dos ventiladores centrífugos (uno de extracción y otro de inyección), los que fuerzan a cierta masa de aire exterior a través de un intercambiador de calor de placas, que en un tiempo relativamente corto renueva el aire húmedo y caliente del interior de la cámara por aire fresco y húmedo exterior, ahora precalentado, para nuevamente establecer el proceso (Revista Chapingo, 2003).

Los secadores solares son una alternativa económica a los secadores convencionales, especialmente para operaciones pequeñas como microempresas y empresas pequeñas (Bond., 2011)

En lo referente al costo de fabricación de un secador solar para madera se debe seleccionar los materiales adecuados con los que se fabrica este tipo de secador, pues de ello depende en gran parte el éxito del mismo. Para esto se debe considerar el material del techo, el cual debe ser material transparente, material y color del colector del secador, material aislante al interior de las paredes de la cámara de secado entre otros. El costo de fabricación del secador solar para madera se presenta en el capítulo V en donde para efectos de cálculo se toma en consideración los aspectos señalados.



3.4.1 Diseños más usados

Todos los diseños de secador solar están basados en el principio de funcionamiento, esto es captar la energía de radiación que pasa por el techo, convertirla en energía térmica, calentar el aire al interior de la cámara de secado y, generación de flujo de aire que pasa por la madera produciéndose el secado. Existen varios tipos y diseños de secadores solares, en los cuales pueden variar ya sea los materiales de construcción y los equipos de funcionamiento, así por ejemplo pueden ser diseñados y construidos por paredes sólidas similares a la construcción de viviendas con estructura de ladrillo y cemento, puede utilizarse paredes con estructura de madera en cuyo interior se coloca material aislante de calor y estas recubiertas con láminas metálicas por la parte exterior e interior, etc. Entre los diseños más usados se puede indicar (Aravena, 2008).

- Secadores con colectores integrados en el techo y estructura de la cámara de secado con material aislante
- Secadores con áreas de colectores externos y estructura de la cámara de secado con aislante
- Secadores de tipo invernadero con paredes transparentes y colectores integrados
- Conjunto de secador solar y horno de desecho de madera y deshumidificador
- Secador reflector de Uganda

Secadores con colectores integrados en el techo y estructura de la cámara de secado con material aislante.- En este tipo de secadores el techo es una estructura construida de material que permita el paso de la radiación solar, puede ser de vidrio, policarbonato. El colector está situado en el interior de la cámara de secado por debajo del techo interior y tiene el mismo ángulo de inclinación al del techo, poseen los mismos elementos básicos de un secador solar (Techo, colector, ventiladores y ventilas). En la figura 4.5 se ilustra un secador solar con colector integrado al techo.

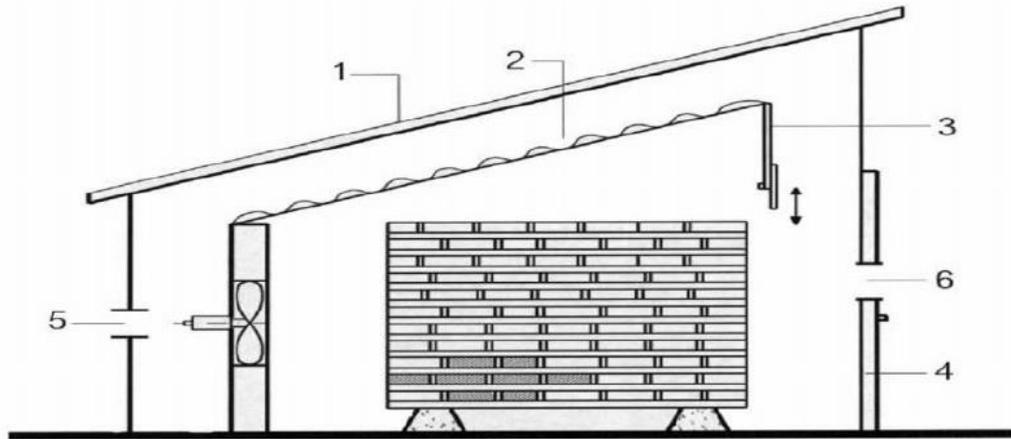


Figura 3.10 Secador con colector integrado y paredes aisladas (Aravena, 2008).

- 1.- Vidrio
- 2.- Absorbente
- 3.- deflector ajustable
- 4.- Puerta
- 5.- Entrada de aire fresco
- 6.- Salida de aire

Secadores con áreas de colectores externos y estructura de la cámara de secado con aislante.-En este tipo de secador solar el colector se encuentra fuera de la cámara de secado formando un cuerpo separado de la estructura del secador, esto se hace con la finalidad de que el techo y las paredes de la cámara de secado pueda aislarse fuertemente. Presenta la factibilidad que el tamaño del colector no depende de las dimensiones del secador solar y en particular del techo. En la Figura 4.6 se ilustra secadores con áreas de colectores externos y estructura de la cámara de secado con estructura aislante.

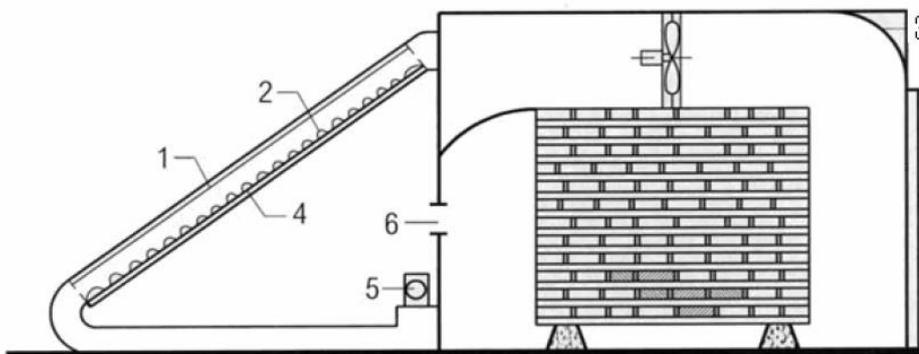


Figura 3.11 Secador con área del colector externa y paredes aisladas (Aravena, 2008).

- 1.- Placa transparente
- 2.- Absorbente
- 3.- Deflector de aire
- 4.- Aislante
- 5.- Ventilador del colector
- 6.- salida de aire

Secadores de tipo invernadero con paredes transparentes y colectores integrados.-El principio de estos secadores solares es el de absorber y acumularla mayor cantidad de radiación solar posible, pues a más del colector las paredes transparentes también cumplen con la función de captar energía. En la figura 4.8 se ilustra un secador solar tipo invernadero.

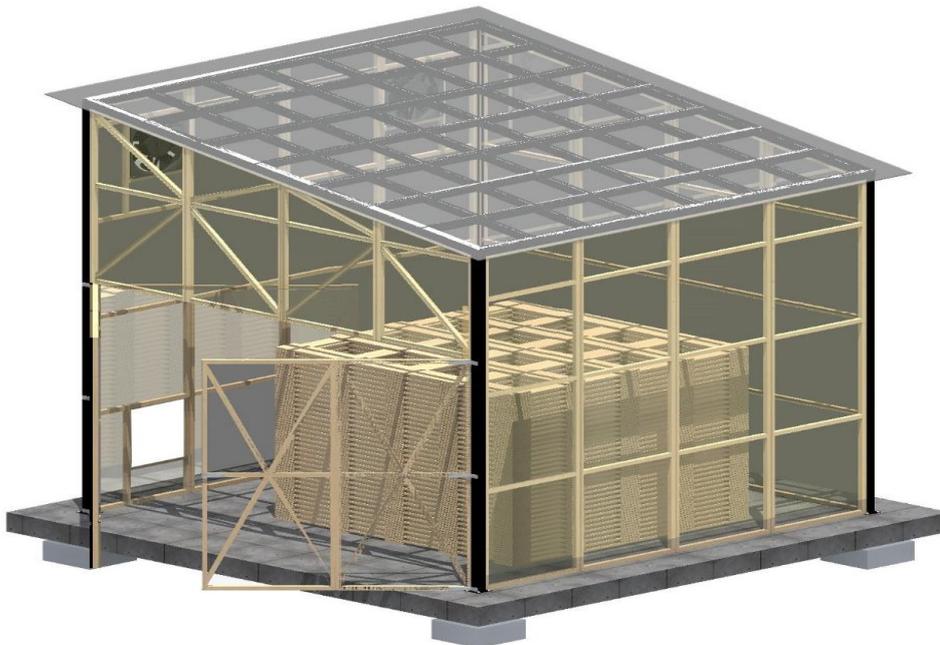


Figura 3.12 Secador solar tipo invernadero (Fuente. Propia).

Si comparamos este tipo de secador solar con los secadores que tienen colectores integrados y paredes aisladas, estos secadores pueden acumular más energía, pero de igual manera cantidades significativas de calor se pierden debido a la radiación y convección a través de las paredes transparentes (Aravena, 2008).

Conjunto de secador solar y horno de desecho de madera y deshumidificador.- Este es un sistema de secado en el que se utiliza un secador solar más un horno de leña que tiene por función abastecer a la cámara

del secador solar de humo caliente el cual circula a través de la pila de madera para producir el secado. .

Este sistema presenta la ventaja debido a que la extracción de humedad continúa por las noches así como cuando las condiciones del tiempo no son favorables, dando como consecuencia la reducción del tiempo de secado. Este sistema de secado es relativamente económico en comparación a secadores que funcionan con combustibles fósiles debido a que el combustible que se utiliza es material de desecho de madera. (Ver Figura 4.9).

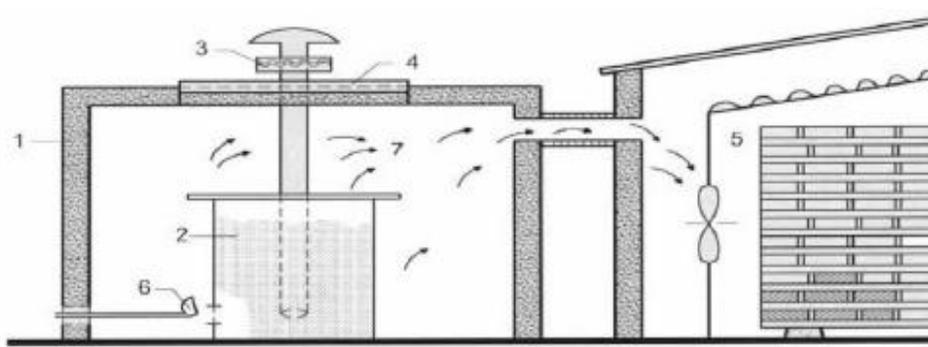


Figura 3.13 Sistema del secador solar y un horno de leña (Aravena, 2008).

- 1.- Paredes de ladrillo
- 2.- Tambor de metal con astillas
- 3.- vasija de agua para apagar las chispas
- 4.- Acceso al horno de leña
- 5.- Secador solar
- 6.- Arrancador
- 7.- Aire caliente

Secador reflector de Uganda.-El diseño de este tipo de secador solar ha sido desarrollado para operar principalmente en las cercanías de la línea ecuatorial (Aravena, 2008).Consta de dos techos simétricos que miran al este y oeste respectivamente. Posee los mismos equipos y materiales que un secador solar con colectores integrados. En la Figura 4.10.se ilustra un secador solar reflector de Uganda

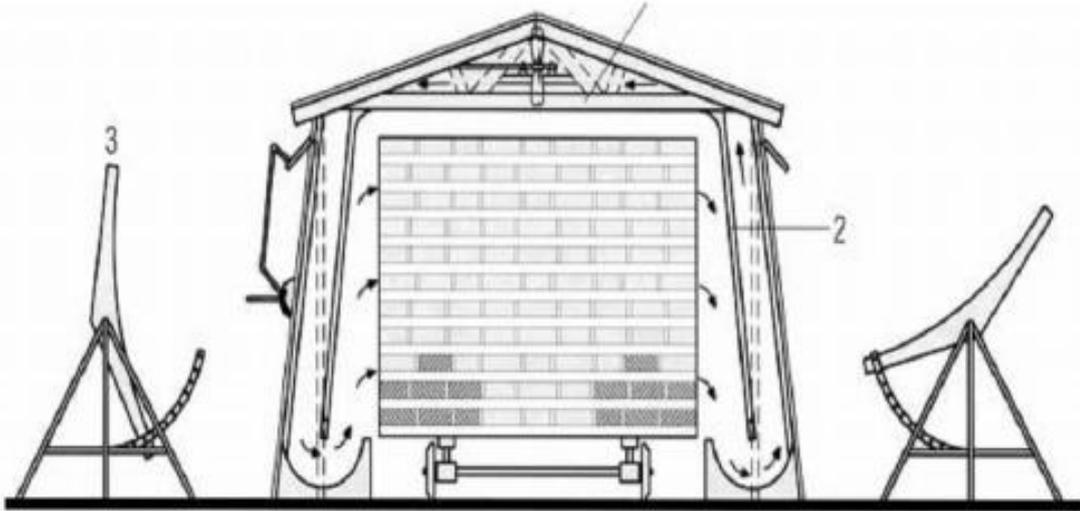


Figura 3.14. Secador solar reflector de Uganda (Aravena, 2008).

De los diseños presentados para el caso de estudio se selecciona el modelo de secador solar con colectores integrados en el techo y estructurado con material aislante. El diseño propiamente dicho es similar al de un invernadero.

3.4.2 Comparación de un Secador Solar respecto a un Secador Convencional

Es importante realizar la comparación de un secador solar respecto a un secador convencional, debido a que se puede apreciar detalladamente las ventajas y desventajas que presenta el un tipo de secador con respecto al otro.

Secadores solares:

- No consumo de energía eléctrica de la red
- No consume combustibles fósiles
- No consume combustibles residuales
- Menor costo de inversión que secadores convencionales
- Mantenimiento básico
- El ciclo de secado es mayor que el de un secador convencional
- Menor capacidad de secado en relación a un secador convencional

Secadores convencionales

- Alto costo de funcionamiento por consumo de combustibles fósiles y/o eléctricos

- Alto costo de instalación de equipos como calderos, plantas de tratamiento de aguas residuales, tuberías y más
- Necesidad de mano de obra calificada y especializada para su operación y funcionamiento
- Alto costo de mantenimiento
- Tiene mayor capacidad de secado que los secadores solares
- Emplea menor tiempo de secado que los secadores solares

Al comparar un secador solar con uno convencional necesariamente se debe realizar un análisis del tiempo de secado, así como la curva de secado que experimenta cada uno de ellos. Se entiende que no es posible mantener estable las 24 horas del día la temperatura y humedad del aire al interior del secador solar, en la práctica el proceso de secado no se interrumpe: durante las horas de sol se intensifica el secado superficial por un mayor calentamiento del aire, en tanto que durante la noche se intensifica la difusión de la humedad desde el interior del material hacia su superficie. Ello resulta en que el secado solar de madera, transcurre en un tiempo similar al que se emplea en el secador convencional. (Delgado., 2017). En la Figura 3.15 se puede apreciar la curva de secado y el tiempo de secado para un secador convencional, así como en la figura 3.16 se observa iguales parámetros para un secador solar.

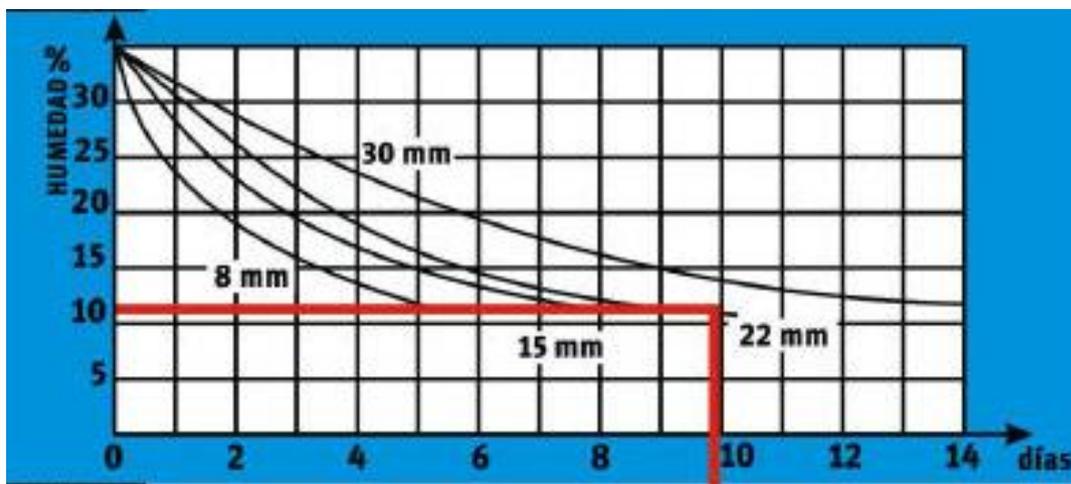


Figura 3.15 Curva de secado de un secador convencional (Delgado., 2017)

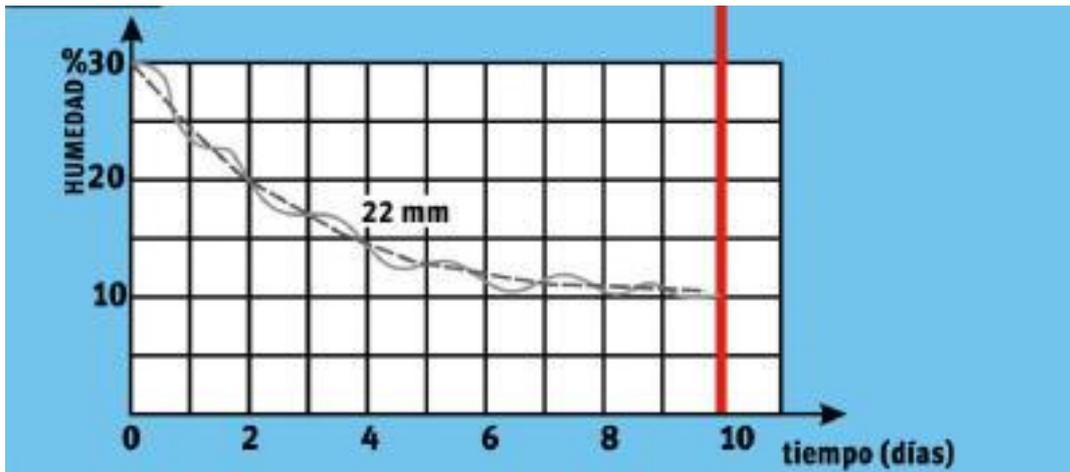


Figura 3.16 Curva de secado de un secador solar (Delgado., 2017)

El tiempo de secado puede variar y depende de factores como: características físicas de la madera, humedad inicial de la madera que entra al interior del secador, espesor y tamaño de la madera, condiciones climáticas, etc.

Del estudio de este capítulo podemos darnos cuenta de la importancia de la energía solar así como, sus usos y aplicaciones. Se realiza el estudio sobre los secadores solares indicando su principio de funcionamiento, las partes principales que lo conforman, así como los modelos más utilizados. También se hace un estudio de comparación entre un secador solar versus un secador convencional analizando los tiempos de secado de cada uno y las ventajas y desventajas que presentan.

En el siguiente capítulo se realiza el estudio de las diferentes partes que conforman un secador solar, esto es función que cumplen, materiales con que pueden ser contruidos, y más. Además se realiza el diseño propiamente del secador solar de tal modo que funcione en las condiciones climáticas de Cuenca de manera que pueda ser de apoyo para el desarrollo de la industria de la madera y mueble de la ciudad de Cuenca y sus alrededores.



Capítulo 4

4. DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR

El presente trabajo realiza un estudio de diseño, funcionamiento y costo de fabricación de un secador solar para madera aserrada, con el propósito de ser usado en la ciudad de Cuenca para lo cual se toma como modelo el secador solar con colector integrado en el techo y estructurado con material aislante. El diseño se fundamenta en aspectos como la ubicación geográfica de la ciudad de Cuenca, clima, variación de la temperatura, horas de sol, radiación solar, entre otras.

Se considera también parámetros como: ser de fácil operación, que no requiera de profundos conocimientos ni amplia experiencia sobre el secado de madera. El estudio económico se fundamenta en el costo de operación y mantenimiento del secador solar diseñado y se lo compara con el secador convencional de similares características, para lo cual se solicitó cotización de un secador convencional (Ver anexo 1) que cumpla con los requerimientos técnicos mínimos para ser comparado con un secador solar.

Para determinar el tamaño o capacidad del secador solar propuesto se toma en cuenta la cantidad de madera que consume la empresa que tome la decisión de contar con un secador solar para desarrollar el proceso de secado.

En la actualidad en la ciudad de Cuenca, no se conoce casos en los que se utilice esta tecnología para el secado de madera con energía solar, a pesar de existir el conocimiento técnico y condiciones climáticas adecuadas para su implementación y funcionamiento, Entre los factores para la no utilización de secadores solares se podría citar el bajo conocimiento de los posibles usuarios de este tipo de tecnología, preferencia a invertir en equipos tradicionalmente usados en la zona, mayor número de proveedores (fabricantes) de secadores convencionales en relación a secadores solares entre otros.

4.1. Radiación solar y posición del secador

El Ecuador al estar ubicado sobre la línea ecuatorial, tiene un considerable potencial solar el cual presenta niveles convenientes para su aprovechamiento energético.

Un aspecto importante a considerar en el diseño del secador solar es la selección del lugar donde se colocará el equipo, debido a que es prioritario contar con un espacio que reciba radiación solar durante todo el día y en todas las épocas del año, para evitar que en algún período se generen sombras sobre el colector solar, lo que disminuiría su eficiencia, ocasionando incremento en los tiempos de secado.

Para el caso de estudio la ciudad de Cuenca, está situada a una altura de 2550 metros sobre el nivel del mar y tiene por coordenadas: -2.88333,-78.98333 Latitud y longitud en Ecuador (verfotosde, 2017). En el año 2014 se estimó que la intensidad de radiación promedio diaria del cantón Cuenca fue de 15,36 MJ m⁻² día⁻¹ (Orellana, 2015). En la Tabla 4.1 se muestra el promedio de temperatura y precipitaciones de la ciudad de Cuenca.

Tabla 4.1 Promedio de temperatura y precipitaciones de la ciudad de Cuenca

Los datos climáticos de Cuenca, Ecuador

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Máxima promedio ° C	21	21	21	21	19	19	18	19	21	21	22	22	20.4
Promedio bajo ° C	10	11	11	10	9	8	8	8	9	9	8	9	9.2
precipitación mm	5	4.6	8.1	10.9	10.9	4.3	2.3	2.8	4.1	7.9	4.6	6.4	71.9

Fuente: (Weatherbase, 2017)

Para el diseño de un secador solar es importante captar la mayor cantidad de calor que pueda ser obtenida de la energía solar, para esto la inclinación del techo con respecto a la horizontal es importante, en donde el ángulo óptimo del



techo depende de la localización del secador y es típicamente igual a la latitud del lugar en que va a ser instalado el secador. Su posición depende de si está ubicado en las latitudes del hemisferio norte o sur, así por ejemplo si el secador se encuentra ubicado en latitud del hemisferio norte el techo o captación deberá estar inclinado hacia el sur (Bond, 2011).

4.2. Tamaño y capacidad del secador solar

Para el diseño y construcción de un secador solar, se debe considerar el tamaño óptimo de la cámara la cual está en función del volumen de madera que se requiere secar. La experiencia indica que no es conveniente construir secadores con capacidades superiores a los 15 m³, pues a mayor tamaño de la cámara menos eficiente es el secado, y que no superen los 5 m de ancho para garantizar que la circulación de la masa de aire a través de la pila de madera sea uniforme (Calderón, 1993).

4.3. Aislamiento del calor

Es importante que el secador solar cuente en su estructura con un aislante térmico, con la finalidad de evitar pérdida de energía al interior de la cámara de secado, pues lo que se trata es de mantener la temperatura y calor que se genera al interior de la cámara de secado. Este material aislante debe llenar el espacio interior que se forman entre la estructura de madera y los forros interno y externo de las paredes, puertas, y ventanas que conforman el secador solar.

Entre las características que debe cumplir el material a ser utilizado se puede mencionar: ser fácil de instalar, cumplir con propiedades aislantes como por ejemplo fibra de vidrio, plástico. El precio debe ser accesible de tal manera que no encarezca la construcción del secador solar.

4.4. Componentes básicos del secador

Cuando se diseña un secador solar se debe considerar los componentes básicos que garanticen un funcionamiento acorde a las necesidades de eficiencia y calidad de secado. Estos componentes básicos son: techo, colector, ventiladores y ventillas.

4.4.1. Techo

El techo de un secador solar es un componente importante, ya que es a través de él que se capta la energía solar que calentará el aire interno de la cámara, el cual es el responsable del secado de la madera. Para su construcción se utiliza material transparente que permita el paso de la energía que va a ser utilizada por el secador, este material puede ser vidrio por ejemplo.

La energía solar pasa a través del material transparente (vidrio) utilizando la onda corta y una vez que lo atraviesa la energía no puede escapar ya que se refleja en la superficie del colector en forma de onda larga, la cual queda atrapada en la cámara y produce un efecto invernadero al interior de la cámara (Figura 4.1). (Salas, 2008).

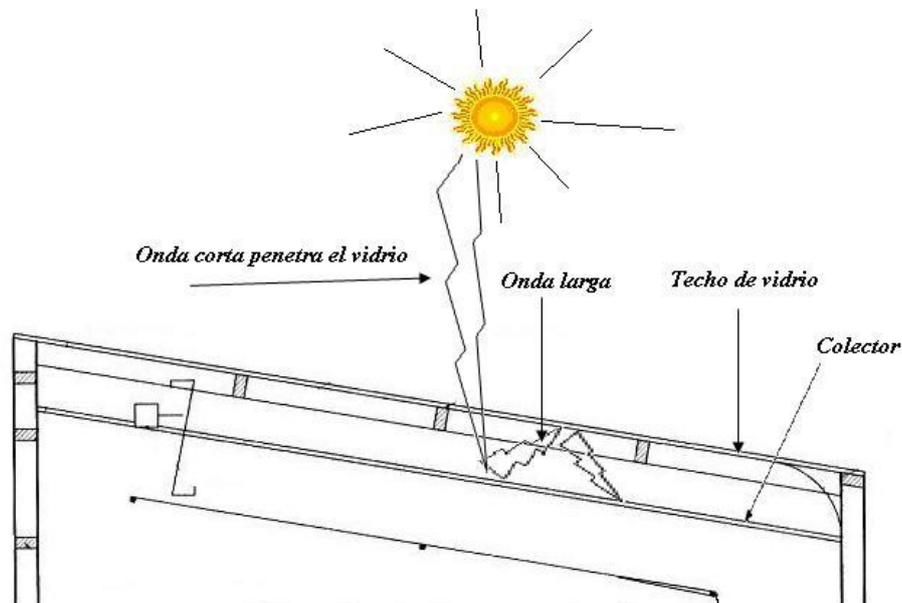


Figura 4.1 Efecto invernadero ocasionado por la incidencia de los rayos solares que atraviesan el techo de vidrio (Salas, 2008).

El ángulo de inclinación del techo es muy importante, de él depende la cantidad de energía que puede ser captada, el ángulo de inclinación óptimo del techo depende de la localización del secador y es típicamente igual a la latitud del lugar en que va a ser instalado el secador (Bond., 2011), con esto se consigue que los rayos solares lleguen al techo perpendicularmente y la energía pueda ser concentrada, y ser aprovechada de mejor manera.

En la Figura 4.2 se ilustra el ángulo óptimo del techo de un secador solar.

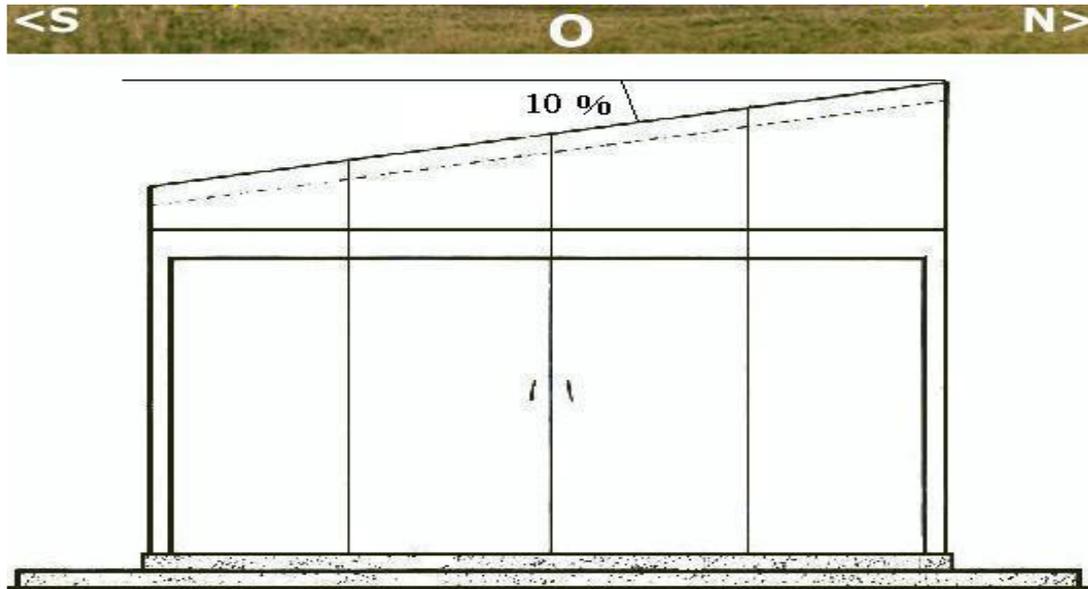


Figura 4.2 Ejemplo del ángulo óptimo de inclinación de un secador solar (Salas, 2008).

Una dificultad en elegir el ángulo de inclinación óptimo para el techo es que éste varía con la época del año, debido a que la posición del sol a la misma hora del día también cambia. (Bond, 2011) . Sin embargo esa dificultad no es tan crítica en el Ecuador, debido a su ubicación geográfica.

4.4.2. Colector

El colector es un elemento importante en el diseño y funcionamiento de un secador solar y debe ubicarse entre el techo y la pila de madera. La función de este componente es captar la energía solar, la cual se transforma en calor y se transmite al aire, lo que produce que este se caliente. Además, la presencia del colector impide que los rayos del sol incidan directamente sobre la madera que se pretende secar, protegiendo a la madera y evitando la degradación de la lignina, lo cual se manifiesta por una decoloración de la madera (Infomadera, 2017),

Los colectores utilizados para este efecto pueden construirse con láminas de zinc, corrugadas o lisas, pero este tipo de material por su espesor se enfría rápidamente en ausencia de los rayos solares. Debido a esto es mejor utilizar una lámina de hierro de al menos 3 mm de espesor pintada en color negro mate,

debido a la propiedad de absorber el calor que tiene el color negro, esto permite aprovechar al máximo la energía solar capturada (Salas, 2008).

4.4.3. Ventiladores (abanicos)

La energía solar capturada en el colector debe ponerse en movimiento en el interior del secador, a fin de que ese aire caliente circule entre la pila de madera que se va a secar. Ese movimiento es originado por la acción de ventiladores que se colocan dentro de la cámara de secado. El aire caliente que circula entre la pila de madera, absorbe la humedad contenida en la madera y es por ello que se produce el secado.

El tamaño de las aspas y la capacidad del motor de los ventiladores, depende básicamente de la cantidad de madera que se va a secar. Esto significa que tendrán que instalarse la cantidad de ventiladores necesarios para que haya un movimiento uniforme de la masa de aire interna, a través de la pila de madera (Salas, 2008). La velocidad promedio del aire a través de la pila de madera que se seca debe estar entre 1.0 y 2.0 m/s, (Calderón, 1993). Si se tiene una velocidad más baja, el secado no es eficiente debido a que no existe la cantidad suficiente de aire caliente, por tanto la humedad de la madera es absorbida en baja cantidad con lo cual el secado es lento, y si la velocidad es más alta se produce el efecto contrario acelerando el proceso de secado de manera brusca y descontrolada, con lo cual se pueden causar daños a la madera, como rajadura e incluso grietas.

Se puede utilizar ventiladores de giro invertido los cuales generan que la circulación del fluido de aire a través de la pila de madera sea en ambos costados con lo que se obtiene un secado final más homogéneo. En la Figura 4.3 se ilustra el movimiento del aire caliente a través de la pila de madera que se seca cuando se usa abanico con un sólo sentido de giro.

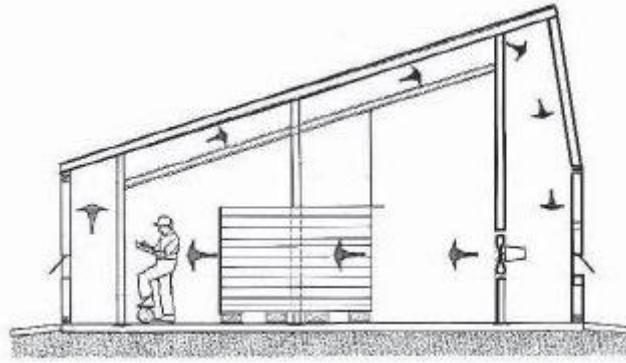


Figura 4.3 Movimiento del aire caliente a través de la pila de madera que se seca cuando se usa abanico con un sólo sentido de giro (Revista Chapingo, 2003).

En la Figura 4.4 se aprecia el esquema de funcionamiento de un ventilador de doble giro

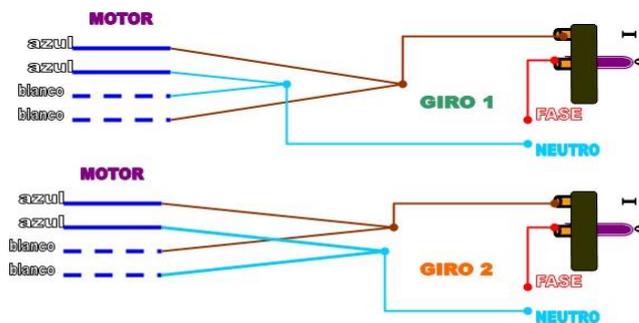


Figura 4.4 Esquema de funcionamiento de un ventilador de doble giro (yoreparo, 2016)

4.4.4. Ventiladas

El aire caliente que circula a través de la pila de madera recoge la humedad que está contenida en la madera, esa humedad llega a saturar el aire caliente y eleva la humedad relativa a lo interno de la cámara de secado. Cuando esto ocurre, el secado se detiene y si esa humedad no se evacua del interior del secador se presenta el riesgo que el proceso de secado no continúe, e incluso, que la humedad sea absorbida por la madera. Para evitar esto, el diseño del secador debe contemplar la presencia de ventiladas o ventanas que se ubiquen en la paredes y que permitan aperturas controladas para que se dé intercambio entre la humedad ambiental fuera de la cámara y la interna.



Estas ventilas sólo se abren cuando la humedad relativa interna de la cámara es más alta que la externa. Debido al movimiento del aire que producen los ventiladores y la presión interna y externa a la cámara, una porción del aire caliente y cargado de humedad sale y otra porción menos húmeda y más fría entra para sustituir el aire que sale (Figura 4.3).

Con este procedimiento se asegura bajar la humedad relativa interna del aire de la cámara, pero también se sacrifica un poco de temperatura a lo interno de ésta. La saturación de humedad del aire interno a la cámara se intensifica durante las noches, cuando el aire es más frío. El momento idóneo para abrir las ventilas es bien temprano en las mañanas, cuando aún el sol no ha calentado lo suficiente el aire interno de la cámara. De esa manera la pérdida de temperatura es mínima (Salas, 2008).

4.5. Diseño y materiales de construcción

Uno de los factores a considerar en el diseño del secador solar son los materiales que básicamente son los mismos que se utilizan en otros tipos de construcción. Aquí lo que se busca es que los materiales sean de disponibilidad cercana al lugar donde se construirá el secador, de tal forma que se cuente de manera oportuna con el material. Además se pretende que los materiales a ser utilizados sean del menor costo posible. En lo relacionado a las características técnicas de los materiales estos deben ser de tal naturaleza que permitan desarrollar un sistema de aislamiento térmico para mantener el calor en el interior de la cámara de secado, buscando durabilidad y bajo costo de mantenimiento.

4.5.1. Cimientos

El secador solar debe ser armado sobre una base firme y sólida de tal manera que pueda soportar el peso de la pila de madera que se va a secar, así como la circulación de maquinaria y equipo que se utiliza en el proceso de secado en la carga y descarga del secador, como es el caso de un montacargas por ejemplo. La mayoría de concretos que se pueden elaborar con agregados comunes tienen una resistencia a la compresión de 180 a 420 kg/cm². (ARQHYS, 2017). Se

recomienda la fundición de una loza de concreto que debe ser de 210 kg/cm² de resistencia mínima al esfuerzo (Salas, 2008).

4.5.2. Paredes, puertas y ventanas

Las paredes del secador solar pueden ser construidas a base de ladrillo y cemento u otros materiales. Sin embargo en la construcción de paredes, puertas y ventanas del secador solar en estudio se recomienda utilizar para su estructura principal madera, debido a que existe mano de obra calificada y con experiencia en la fabricación de estos trabajos. Esta estructura debe ser protegida para lo cual se forra las partes externas e internas con material que puede ser láminas metálicas hacia el exterior y tableros resistentes a la humedad para el interior.

Es importante que estos elementos (paredes, puertas y ventanas) del secador cuenten en su estructura con un aislante térmico por lo que se puede utilizar lana de fibra de vidrio. Este material aislante debe llenar el espacio que se forman entre la estructura de madera y los forros interno y externo.

El secador que se describe en este estudio tiene en su estructura como principal elemento a la madera. En primera instancia se debe construir una estructura que va anclada al piso y es considerada como la base del secador. Esta estructura es un marco metálico conformado por vigas de 0,07 x 0,14 metros. A continuación se construye las paredes que forman la cámara de secado, para lo cual se utiliza tiras de madera de 0,04m x 0,04m colocándose entre las tiras el material aislante que puede ser fibra de vidrio flexible, esponja, viruta, etc.

Luego se cubre la cara interior y exterior de los marcos con material que puede ser planchas de zinc o tableros contrachapados para exteriores (de espesor de 10 - 18 milímetros).

Las puertas del secador son construidas de igual forma que las paredes del secador solar a través de ellas se pueden cargar, descargar e inspeccionar el contenido de humedad. Las ventanas o ventilas deberán ser colocadas necesariamente en la pared sur (para el hemisferio sur), y pueden ser aberturas enmarcadas con una pequeña pieza de contrachapado para cubrirla cuando sea necesario, también puede ser una ventana comercial de abertura regulable

(Bond, 2011). En la Figura 4.5 se puede observar la forma en que están estructuradas las diferentes partes del secador solar.

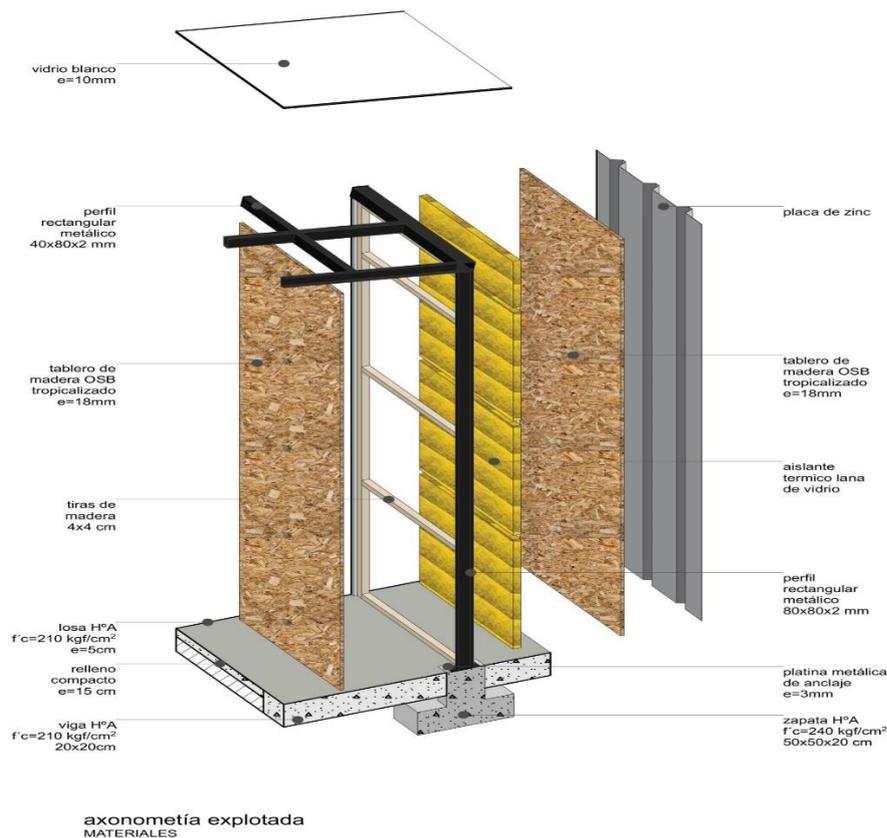


Figura 4.5 Estructura de paredes y puertas del secador solar (Fuente: Propia)

4.5.3. Techo

El ángulo óptimo del techo depende de la localización del secador y es igual a la latitud del lugar en que va a ser instalado el secador, esto es en la ciudad de Cuenca la cual tiene por coordenadas $02^{\circ}53'00''S$ de latitud y $78^{\circ}59'00''W$ de longitud, por lo que teóricamente el ángulo de inclinación del techo con respecto a la horizontal será de 3° (grados) sin embargo por recomendaciones arquitectónicas la caída de inclinación de los techos que se fabrican en la zona de influencia del presente estudio (la ciudad de Cuenca) debe ser del 5% al 10% en este caso se toma una inclinación con un ángulo de 10° (grados). En lo relacionado a la inclinación del techo, está debe ser hacia el norte debido a que Cuenca se encuentra ubicada en el hemisferio sur.

El tipo de material transparente para el techo, puede también afectar la cantidad de energía calorífica obtenida. El material usado en la cubierta debe transmitir los rayos del sol al colector, y no reflejarlos. También deberá ser resistente a la degradación ocasionada por los rayos ultravioletas (Bond, 2011). Varios materiales pueden ser utilizados para el techo, entre los cuales se tiene vidrio, plástico transparente, láminas transparentes.

En la Tabla 4.2 se analiza las ventajas y desventajas de diferentes tipos de materiales que pueden ser usados para construir el techo de un secador solar.

Tabla 4.2. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de materiales para construir el techo de un secador solar

Materiales	Ventajas	Desventajas
Vidrio	<ul style="list-style-type: none"> - Material estable - Alta transmitancia - Durable - Pocas pérdidas de calor - Disponibilidad local 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesado - Difícil de manejar - Construcción especial - Frágil
Plástico transparente	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - Liviano - Fácil de instalar - Disponibilidad local 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco durable - Regular transmitancia - Regular aislamiento - Frágil
Lámina transparente	<ul style="list-style-type: none"> - Liviano - Bajo costo - Fácil de instalar - Resistente - Durable - Disponibilidad local 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja transmitancia - Poco aislamiento

Fuente: (Salas, 2008).

Del análisis de la Tabla 4.1 se nota que la opción más apropiada del material a ser utilizado en el techo del secador solar es el vidrio, el cual será colocado sobre una estructura metálica que debe tener separaciones de 0,6 x 0,6 metros con la finalidad de ajustar el ancho del material para que se facilite la colocación y mantenimiento como se indica en las Figuras 4.6 y 4.7



Figura 4.6 Detalle colocación de vidrio sobre estructura metálica del techo (Fuente: Propia)



Figura 4.7 Techo de vidrio del Secador Solar (Fuente: Propia)

4.5.4. Colector

Aunque el colector solar se puede construir con hierro galvanizado, para mejores rendimientos se sugiere la lámina de hierro de 3 a 4 mm de espesor pintada en color negro mate para aprovechar la propiedad absorbente que posee el color negro. Este colector debe cubrir toda el área en donde se pretende apilar la madera que se va a secar (Salas, 2008).



4.5.5. Ventiladores (abanicos)

Para el secador solar cuya área interna en la cámara sea de 4,2 m x 4,2 m, y el volumen de la cámara de secado es similar al secador convencional ofertado se sugiere la instalación de dos ventiladores de características similares a los ofertados, esto es ventiladores con aspas que tengan un diámetro de 56cm, con motor de 2 HP que permitan circular el aire a una velocidad de 2m/seg. Que se pueda conectar en 110 ó 220 voltios, según voltaje disponible.

4.5.6. Modelo de producción

En este punto se hace referencia al modelo de gestión de las etapas de los procesos productivos de una empresa que se desenvuelve en la industria de la madera y mueble. Uno de estos procesos productivos es el tratamiento y secado de la madera, en donde se puede observar las ventajas que ofrece la incorporación del proceso de secado al ciclo productivo, con lo que se mejora el valor agregado y se puede considerar la industrialización al aumentar la disponibilidad de materia prima que se encuentra en condiciones adecuadas para ser empleada.

Cuando se toma la decisión de contar con un secador solar es porque va a dinamizar los procesos productivos de una empresa, es decir el secador solar será un apoyo facilitador en la cadena de producción lo cual hace necesario un análisis del tratamiento que se da a la madera.

El proceso de secado inicia en la compra misma de la madera, en donde la madera adquirida tiene una humedad inicial elevada y no es uniforme por lo que debe ser sometida a una etapa de pre – secado que se lo realiza al aire libre y depende de las condiciones climáticas del lugar. En esta etapa se consigue de alguna manera hacer que la humedad de la madera sea más uniforme en relación a la humedad inicial cuando fue comprada y dependiendo del tiempo que se exponga al aire libre, la madera puede llegar a un contenido de humedad de alrededor 50% - 60%.

Luego esta madera es sometida al proceso de secado artificial, en donde la madera es introducida en el secador solar y secada hasta llegar al contenido de



humedad requerido para luego ser sometida al proceso de producción de partes y piezas. Un aspecto importante es que si la madera no es sometida a la etapa de pre secado el tiempo de secado en la cámara del secador solar será mayor, es decir se necesitará más días de secado.

Cuando la madera ha sido secada y alcanza la humedad requerida se aconseja almacenarla y dejarla en reposo con la finalidad de lograr estabilidad dimensional así como una estabilidad de humedad, pues no toda la madera alcanza la misma humedad en todas sus partes al interior del secador. A continuación la madera es clasificada y puede ser utilizada en el proceso de producción.

4.6. Prototipo de un secador solar para Cuenca

El diseño del prototipo de un secador solar para Cuenca se basa en las condiciones climáticas que presenta la ciudad de Cuenca, así como el segmento de productores que pudieran adoptar esta equipo en el proceso de secado de su madera.

Para determinar el tamaño óptimo de la cámara de secado secador se considera dos aspectos: cantidad de madera que consume una empresa, o sea el volumen de madera que se requiere secar y la proyección de crecimiento o desarrollo que ésta pueda tener, de tal manera que la capacidad de secado y la disponibilidad de madera no se vea afectada a futuro. Bajo estos parámetros se estima que una empresa considerada pequeña (6 a 15 empleados) consume entre 11 y 12 m³ de madera por mes, y, una mediana empresa (16 a 40 empleados) consume entre 15 y 16 m³ de madera por mes) (Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico , 2012), por lo que se puede decir que las necesidades de este segmento de empresas es de contar con 15 m³ de madera para ser usada en sus procesos productivos. Además se tiene en cuenta las recomendaciones del tamaño de un secador solar expuestas con anterioridad (secar 15 m³ y tener máximo 5 m de ancho).

También se debe tener presente las dimensiones de la madera que se comercializa en la ciudad de Cuenca y que va ser secada en el interior del secador. Así se tiene que las medidas de la madera son 3 metros de largo, 0,20 metros de ancho y 0,05 metros de espesor, pudiendo variar en el largo de la

misma de 3,0 metros a 2,60 metros, manteniendo las medidas de ancho y espesor. Con estos valores las dimensiones de la cámara del secador solar deben permitir que la madera sea fácil de manipular y al mismo tiempo el secador no se vea afectado en su estructura por golpes o mal trato originados por el movimiento de la madera (carga y descarga de la madera en la cámara de secado).

Con lo expuesto las medidas del secador solar en estudio son:

- Frente 4,20 m (3,00 m útiles para madera)
- Fondo 4,20 m (2,20 m para madera)
- Alto 3,50 m (2,50 m para madera)

Con estas dimensiones la cámara de secado tiene un volumen de 61,74 metros cúbicos y puede secar hasta 16,5 metros cúbicos de madera.

Adicionalmente para efectos de poder comparar el costo de fabricación del secador solar en estudio con el costo de adquirir un secador convencional, el tamaño y capacidad de los mismos debe ser similar, para esto se solicitó una cotización de un secador convencional que cumpla con los requerimientos establecidos en función del secador solar. El secador convencional ofertado es de la marca SELTAR modelo MADT-MD (ver figura 4.8), y cuya proforma se puede ver en el Anexo 1.



Figura 4.8 Secadero MADT-MD (SELTAR, 2017).



El secador convencional ofertado puede secar un volumen de 20 metros cúbicos y tiene por dimensiones de la cámara de secado:

- Frente 3,00 m (todos útiles para madera)
- Fondo 6,20m (4,20 m para madera en 4 paquetes de 1m de fondo)
- Alto 3,30m (2,50 m para madera)

De estas dimensiones se tiene que la cámara de secado tiene un volumen de 61,38metros cúbicos.

A continuación se presentan los detalles de colocación de la madera que será la base del secador solar, así como los planos de un secador solar con colector integrado en el techo con dimensiones y capacidad similar al del secador convencional MADT-MD.

Cimientos.- Los cimientos para levantar la estructura del secador solar necesitan una superficie no menor de 25 m² en donde tiene 5m de frente por 5m de fondo, y, debe tener una resistencia mínima al esfuerzo de 210 kg/cm². En la Figura 4.9 se puede observar el corte de la estructura que será armada sobre la fundición de hormigón.

Los cimientos para levantar la estructura del secador solar necesitan una superficie no menor de 25 m² en donde tiene 5m de frente por 5m de fondo, y,

debe tener una resistencia mínima al esfuerzo de 210 kg/cm².

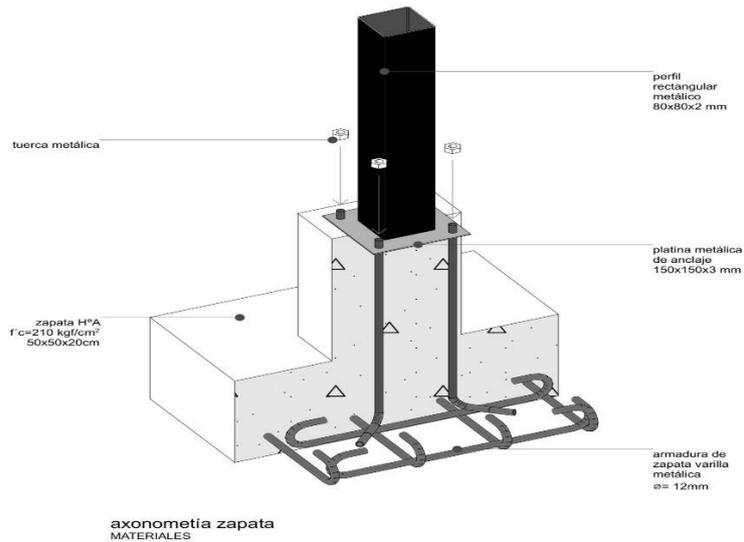


Figura 4.9 Detalle de colocación de viga sobre la loza (Fuente Propia)

Planos del Secador Solar: A continuación se presenta los planos del secador solar diseñado, en donde se puede apreciar las medidas de cada uno de sus componentes.

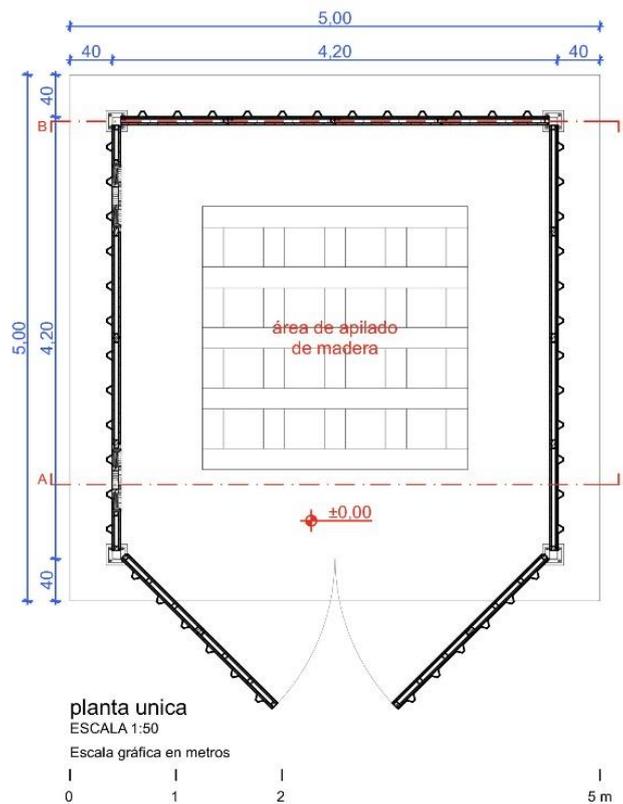


Figura 4.10 Planta Única Secador Solar (Fuente Propia)

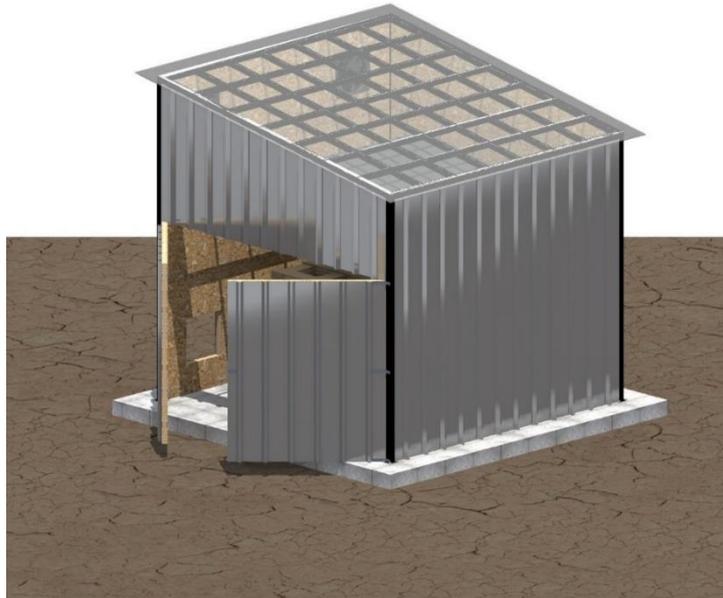


Figura 4.11 Diseño Secador Solar (Fuente Propia)

PLANOS DEL TECHO: Techo con estructura metálica y cubierta de vidrio

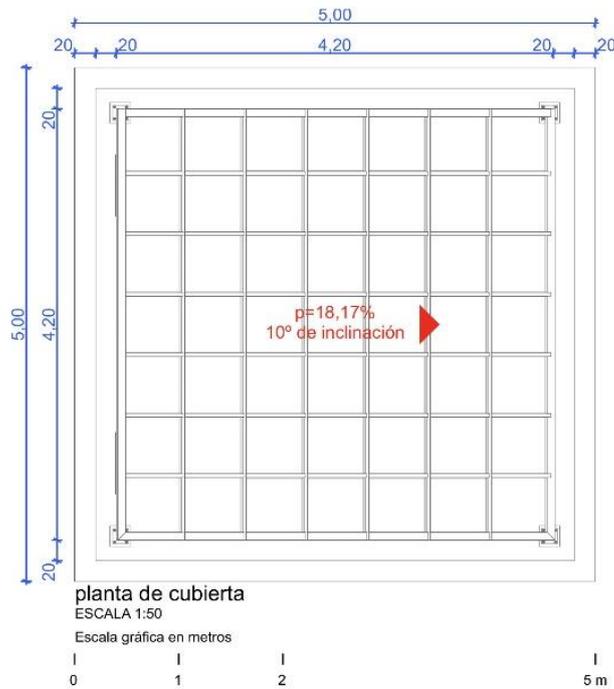


Figura 4.12 Plano de Planta del Techo o Cubierta (Fuente Propia)

PLANOS DE PAREDES Y VENTANAS: Componentes con estructura de madera, material aislante (Fibra de vidrio) recubierto el interior con planchas de madera y el exterior con plancha de metal.

3.- Vista frontal

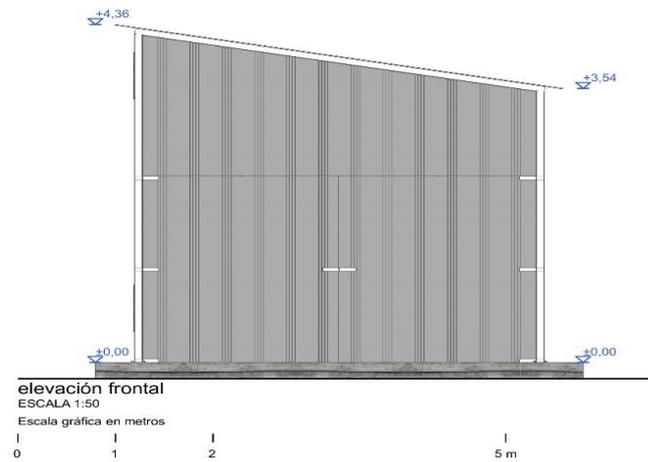


Figura 4.13 Vista Frontal del secador solar diseñado (Fuente Propia)

4.- Vista Posterior

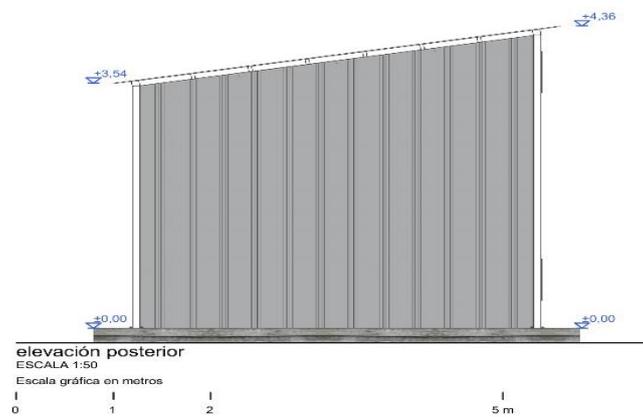


Figura 4.14 Vista Posterior Secador Solar Diseñado (Fuente Propia)

5.- Vista Lateral Izquierda

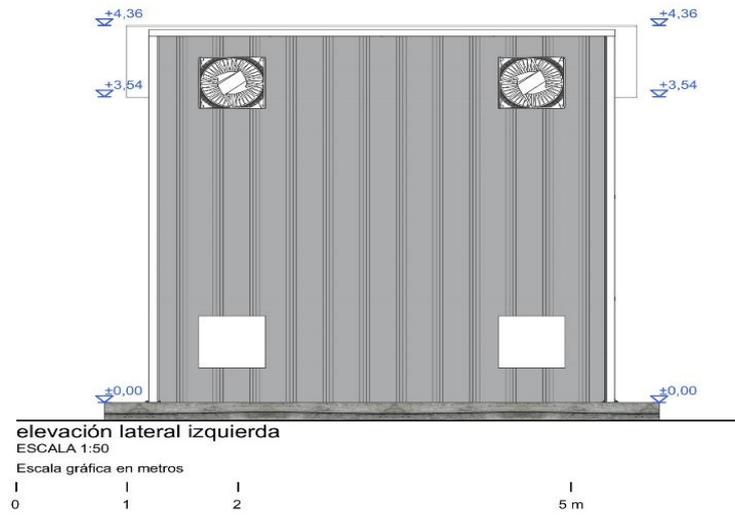


Figura 4.15 Vista Lateral Izquierda Secador Solar Diseñado (Fuente Propia)

6.- Vista Lateral Derecha

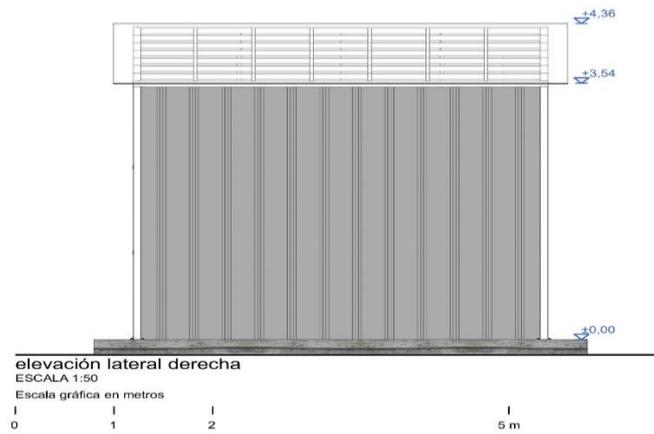


Figura 4.16 Vista Lateral Derecha Secador Solar Diseñado (Fuente Propia)

TABLA DE CONTENIDO DE PLANOS DEL SECADOR SOLAR:

Tabla 4.3. Medidas y cantidades de paredes puertas y ventanas del secador solar diseñado.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS	SUPERFICIE
1	Planta Única Secador Solar	5,0 m x 5,0 m	25 m ²
1	Diseño de Secador Solar		
1	Plano de Planta del Techo del Secador Solar	4,20 m x 4,20 m	17,64 m ²
1	Vista frontal del Secador (incluye puerta de acceso)	4,2m x 3,32m	13,94 m ²
1	Vista Posterior del Secador	4,2m x 3,50m	14,70m ²
1	Vista Lateral Izquierda	4,2m x 3,50m	14,70m ²
1	Vista Lateral Derecha	4,2m x 3,50m	14,70m ²

Fuente: Propia

Del estudio y análisis de este capítulo podemos darnos cuenta que es posible desarrollar un secador solar que funcione en las condiciones climáticas de la ciudad de Cuenca, además existe la disponibilidad de materiales y mano de obra para la fabricación del secador solar en estudio.

En el siguiente capítulo se realizará el estudio de costos de fabricación y costo de operación del secador solar y estos costos serán comparados con los de un secador convencional que opere en condiciones similares.



Capítulo 5

5. ANALISIS DE COSTOS

5.1. Los costos como base para la toma de decisiones

Los costos de secado constituyen un factor determinante en la decisión de aplicar un proceso de secado artificial a la madera. Los factores que determinan lo anterior son: los tiempos de secado, la productividad de las cámaras (ciclos por mes), la capacidad de éstas y la producción mensual de secado. La incidencia de los costos fijos y del personal de operación, sobre los costos de secado o de venta de servicio, son factores a considerar en esta decisión. Así de los factores mencionados se puede decir:

Tiempos de Secado.- Del análisis de este parámetro se sabe que para utilizar la madera que ha sido comprada cuando está fresca es necesario someterla a un proceso de secado ya sea de forma natural o artificial, si es un secado natural este tardará aproximadamente 6 meses lo cual genera inconvenientes técnicos y económicos pues no alcanzan los niveles de secado adecuados para su uso y en lo económico el costo de inventario se incrementa por el tiempo que debe permanecer la madera sin ser utilizada mientras se seca.

Si se realiza un secado artificial ya sea con energía fósil o energía solar esta rotación de inventarios es mucho más rápida, pues se tiene que las maderas que se utilizan en la zona de estudio presentan ciclos de 15 días, con lo cual el costo de secado es inferior al secado natural.

Productividad de las cámaras (ciclos por mes).- En este punto al tener maderas que presentan ciclos de secado de 15 días lo que representa 2 ciclos por mes, es evidente que la productividad de secado es superior lo que genera una dinámica importante en los procesos productivos en la industria de la madera y mueble con lo que su rentabilidad puede verse beneficiada considerablemente. Además como se ha mencionado con anterioridad la calidad de madera que se obtiene es superior en relación a la madera secada de manera natural lo que mejora aún más la eficiencia en términos de producción.

Incidencia de los costos fijos y del personal de operación.- El análisis aquí se orienta al costo que representa mantener un personal con un nivel de conocimiento para operar un secador convencional, es decir se necesita un operario de este equipo de manera permanente dedicado únicamente a controlar el funcionamiento del secador convencional y el costo que se puede considerar nulo de personal para el secador solar propuesto, esto se debe a que para el funcionamiento de este tipo de secador no se requiere de personal especializado, tampoco es necesario que el operario este única y exclusivamente dedicado a controlar el proceso de secado del secador solar pudiendo realizar estas y otras funciones en la actividad productiva de la empresa.

Costos de venta de servicio de secado.- El servicio de secado es prácticamente nulo en la zona de influencia de estudio, esto es debido a que los que poseen secadores convencionales secan principalmente su propia madera y cuando secan madera de otros productores lo hacen luego de otorgar turnos que en determinado momento puede resultar extemporáneos o en su defecto exigen cantidades mínimas de secado que son volúmenes altos para los pequeños y medianos productores lo cual genera un alto costo de secado.

5.2. Costos de fabricación de un secador convencional

El costo de un secador convencional para secar madera aserrada se la obtiene al solicitar la proforma de un secador convencional con una capacidad de 15 – 20 metros cúbicos. La solicitud se la pide a uno de los representantes que posee una trayectoria reconocida en el medio en la instalación, puesta en marcha y operación de este tipo de secadores. Los valores ofertados se indican en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Costo de un secador convencional

Cantidad	Detalle	Costo
1	Secador MADT-MD 2/63/3/100 MÁS CALDERA capacidad de secado de 15 – 20 metros cúbicos	\$34.800,00
	IVA 14%	\$4.884,32
	COSTO TOTAL	\$39.772,32

Fuente: Propia



Los valores indicados no incluyen el costo de la cámara de secado, costo de mampostería ni los costos de instalación, por lo que se estima que al valor final presentado se debe adicionar un 15% lo que representa un costo final del equipo instalado y funcionando de \$45.738,17. La proforma presentada se puede observar en el anexo 1. Sin embargo para efectos de comparación de costos entre el secador convencional y el secador solar se toma el valor presentado en la proforma.

Debe indicarse que este costo puede variar de acuerdo a la procedencia y origen del secador. No pueden existir variaciones en lo referente a detalles técnicos del secador, a fin de realizar adecuadamente la comparación con el secador solar.

5.3. Costos fabricación de un secador solar

Para el cálculo del costo de fabricación del secador solar propuesto se toma en cuenta los costos de: cimientos, mano de obra, materiales y equipos necesarios que se utilicen según el diseño desarrollado en el capítulo anterior.

5.3.1. Cimientos

Los cimientos necesarios para levantar la estructura del secador solar necesitan una superficie no menor de 25 m² en donde tiene 5m de frente por 5m de fondo y debe cumplir con las recomendaciones de resistencia mínima al esfuerzo de 210 kg/cm² (Salas, 2008). Para obtener el costo de fabricación de los cimientos se pidió cotización a un constructor de la ciudad de Cuenca (Ver anexo 2), el que presentó un valor de \$20,00 por metro cuadrado, lo que da un valor final de \$ 500,00.

5.3.2. Paredes, puertas y ventanas

Para determinar el costo de construcción de paredes, puertas y ventanas (ventilas) de igual manera se acudió a una empresa que puede fabricar en las características indicadas con anterioridad (capítulo cuatro numeral 4.5.3), y en lo referente a sus medidas y cantidades se detalla en la tabla 5.2. El valor que fue

cotizado por metro cuadrado de superficie es de \$ 80,00 y se puede observar según proforma presentada en el anexo 3.

Tabla 5.2. Medidas y cantidades de paredes puertas y ventanas del secador solar diseñado.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE
1	Frente del Secador (incluye puerta frontal) de 4,2 x 3,32 metros	13,94 m ²
2	Costados de 4,2 x 3,50 metros	29,40 m ²
1	Posterior de 4,20 x 3,50 metros	14,70 m ²
4	Ventanas de 1,00 x 1,00 metros	4,00 m ²
	Total superficie	62,04 m ²

Fuente: Propia

Para obtener el valor se tiene la superficie total multiplicado por el valor unitario del metro cuadrado:

Costo de paredes, puertas y ventanas: 62,04m² x \$80,00 = \$4.963,20

5.3.3. Techo

En la determinación del costo del techo de igual forma se procede a solicitar proforma a una empresa que realiza trabajos de esta índole, en donde la estructura es de metal y la cubierta de vidrio. Para eso se tiene una superficie de techo de 4,20m x 4,20m y debe tener en su estructura los elementos necesarios para sostener al colector. El valor unitario presupuestado es de \$135,00 por m², en donde consta la instalación de vidrio de 6 milímetro blanco (Ver anexo 4). De acuerdo a lo mencionado el valor del techo es de \$2381, 40.

5.3.4. Colector

El diseño del colector consta de una plancha de hierro de 4 mm de espesor pintada en color negro mate. El colector debe cubrir toda el área de la madera apilada que se va a secar, esto es 2,50 x 3,00 metros. Su costo es de \$300 según proforma presentada por proveedor de este material (Ver anexo 5).

5.3.5. Ventiladores (abanicos)

Al tratarse de un secador solar con medidas similares al secador convencional propuesto se opta por proveerse de ventiladores similares, esto es: dos

ventiladores con aspas que tengan un diámetro de 56 cm, con motor de 2 HP que permitan circular el aire a una velocidad de 2m/seg. El costo de estos equipos en el mercado es de \$1.800,00 cada uno (ver anexo 6) por lo que el costo de este rubro es de \$3.600,00.

5.4. Costos del prototipo diseñado

Para determinar los costos totales del prototipo diseñado se calcula en primera instancia el costo primo el cual está conformado por: mano de obra utilizada en la construcción propiamente dicha, costos de los equipos, costo de materiales (Paredes, puertas, ventanas, techo), luego se considera también un costo administrativo del 20% de ese costo. En la tabla 5.3 se presentan los costos de la construcción del secador solar según el diseño desarrollado.

Tabla 5.3. Costo de construcción de secador solar diseñado

Descripción	Valor
Mano de obra	\$ 720,00
Cimiento	\$ 500,00
Paredes, puertas y ventanas	\$4.963,20
Techo	\$ 2.381,40
Colector	\$ 300,00
Ventiladores	\$ 3.600,00
COSTO PRIMO	\$ 12.464,60
Costos administrativos (20%)	\$ 1.864,92
Total	\$14.329,52

Fuente: Autor

5.5. Costos de operación y mantenimiento de un secador convencional

Los costos de operación y mantenimiento de un secador convencional se refieren al costo del secado artificial propiamente dicho. El cálculo de operación viene dado por el consumo energético, en donde se consideran dos tipos de consumos de energía que son: consumo eléctrico y consumo térmico. El costo de mantenimiento básicamente es el costo de mano de obra encargada del control y funcionamiento de los equipos con que se realiza el proceso de secado.

Cálculo del Consumo Energético.- Como se indicó el consumo energético de un secador para madera está dado por el consumo de dos tipos de energía que son: Consumo eléctrico que es básicamente la energía eléctrica que consumen



los equipos del secador que funcionan con electricidad, como por ejemplo los ventiladores, y el consumo térmico que se refiere a la energía utilizada para calentar y evaporar el agua contenida en la madera (SELTAR, 2017).

Cálculo del consumo eléctrico de un secador convencional.- El consumo de energía eléctrica es el utilizado principalmente por los motores de los ventiladores que funcionan las 24 horas del día y se considera que consumen el 100% de electricidad.

El consumo eléctrico se calcula según la potencia instalada, número de días de secado.

El cálculo se realiza para el secador convencional que fue ofertado para este estudio, se tiene:

Secador de 15 m³ de capacidad con 2 ventiladores de 2 kwh/día cada uno. Realizando el cálculo sería: $2 \times 2 \text{ kw/h} \times 24 \text{ horas} = 96 \text{ kwh/día}$.

El costo de secado por día y por m³ se calcula: Costo de kwh = \$ 0,08

$96 \text{ kwh/día} \times \$ 0,08 = \$7,68$ por día y por 15 m³ llevando a 1m³ se tiene $\$7,68/15 = \$ 0,512$ por m³ y por cada día de secado.

Si el ciclo de secado se considera de 15 días promedio el costo eléctrico sería de $(15 \text{ días} \times \$ 0,512) = \$7,69$ por ciclo de secado,

Calculo del consumo térmico de un secador convencional.- Al tratarse del cálculo del consumo térmico de un secador convencional se debe tener en cuenta que su fuente de energía es a través de combustibles de origen fósil y/o biomasa residual. Para el caso de estudio el combustible utilizado es diésel.

Para el cálculo del consumo de energía térmica está referido por la energía que se necesita para calentar y evaporar el agua presente en la madera (energía necesaria para hacer funcionar los equipos del secador convencional). Para obtener el valor del consumo térmico en primera instancia se debe averiguar la cantidad de Kilocalorías consumidas y según el combustible empleado determinar su costo. Para calcular la cantidad de Kcal en primera instancia se debe calcular la cantidad de agua a evaporar según:

Agua a evaporar = (humedad inicial) – (humedad final) x densidad de madera/100



Así en el caso de estudio toma como ejemplo secar madera de pino para lo cual se considera:

- Humedad inicial: $h_i = 60\%$;
- Humedad final: $h_f = 10\%$;
- $D =$ densidad media de madera de pino 420Kg/m^3
- Agua a evaporar = HEV

Aplicando la formula se tiene:

$$\text{HEV} = (h_i - h_f) \times D$$

Reemplazando valores:

$$\text{HEV} = (60 - 10) \times 420\text{Kg/m}^3$$

$$\text{HEV} = 21000 \text{ Kg/m}^3$$

Transformando a litros se tiene que la cantidad de agua a eliminar es de 210 litros de agua por m^3 de madera **210 lits/ m^3** .

Se sabe que para evaporar 1 litro de agua se necesita 560 Kcal/h , este valor se incrementa por perdidas en las instalaciones, por experiencia estos valores llegan a 1.000 Kcal/h (SELTAR, 2017).

Así tenemos: $210 \text{ litros} \times 1.000 \text{ Kcal/h} = 210.000 \text{ Kcal/h}$.

Por otra parte, el combustible que se utiliza para el funcionamiento del secador convencional en estudio es diésel y tienen un poder calorífico según se muestra en la tabla 5.4

Tabla 5.4. Poder Calorífico de combustibles (SELTAR, 2017).

COMBUSTIBLE	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
Diésel	7.500

Fuente: (SELTAR, 2017)

Con los datos disponibles se puede calcular la cantidad de agua que puede evaporar cada combustible, sabiendo que para cada litro de agua que se evapore existe un aporte de 1.000Kcal/Kg (SELTAR, 2017), esto es:

En la Tabla 5.5 se observa la cantidad de agua eliminada por el combustible que utiliza el secador convencional.



Tabla 5.5. Cantidad de agua eliminada por el combustible diesel

COMBUSTIBLE	AGUA ELIMINADA
Diésel	7,5 litros/Kg

Fuente: (SELTAR, 2017)

De acuerdo a los cálculos realizados necesitamos evaporar 210 litros de agua entonces obtenemos la cantidad de combustible necesario y por el costo unitario del combustible obtenemos costo térmico de secado:

Diésel: $(210/7.5) = 28$ litros de diésel

El costo de 1 litro de diésel en el Ecuador es de \$0,25

Se necesita 28 litros

Costo Térmico = $28 \times \$0,25 = \$7,00$

Ahora sumando el costo de consumo de energía eléctrica (\$7,69) de los motores más el costo de consumo de energía térmica se tiene el costo total de operación por cada metro cubico de madera seca. Para el caso del secador convencional, el combustible con que funciona es diésel los valores se puede observar en la Tabla 5.6:

Tabla 5.6. Costo total de operación por consumo de energía

COMBUSTIBLE	COSTO ELECTRICO	COSTO TERMICO	COSTO TOTAL
Diésel	\$7,69	\$ 7,00	\$14,69

Fuente: Propia

En lo referente al costo de mantenimiento se debe considerar el costo de contratar a un operario capacitado para llevar a cabo el proceso de secado mediante el uso de este tipo de secador convencional. El operario de este equipo deberá tener un nivel de preparación suficiente por lo cual se considera que debe recibir como sueldo mensual un valor superior al salario básico, por ejemplo un valor de \$600,00 al mes. Esto implica que al valor del costo de secado debe incrementarse el valor del sueldo del operario, por lo que se tiene:

Sueldo mensual del operario: \$600,00



Ciclos de secado por mes: 2 ciclos

Cantidad de madera por ciclo: 15 m³

Cantidad de madera por mes: 30m³

Por lo que se tiene:

Costo de mantenimiento por m³: $\$600,00/30m^3 = \$20/m^3$ que representa el costo de mantenimiento de un secador convencional

5.6. Costo de operación y mantenimiento de un secador solar

Como se indicó anteriormente, para obtener el costo de operación de un secador de madera se debe tener presente el costo de consumo eléctrico y el costo de consumo térmico.

Para el cálculo del costo de operación y mantenimiento de un secador solar solo se consideraría el costo de consumo eléctrico que corresponde al funcionamiento de los ventiladores, debido a que el costo de consumo térmico no existe por la ausencia de combustibles fósiles.

Por tanto el costo consumo eléctrico del secador solar en estudio es el mismo que corresponde al consumo eléctrico del secador convencional siendo ese valor el calculado con anterioridad y su valor es de \$7,69 por cada metro cúbico de madera secada.

En lo referente al costo de mantenimiento se considera prácticamente nulo debido a que no es necesario contratar personal para la operación de este tipo de secador, pudiendo designar estas funciones a un trabajador que ya labora en la empresa. Sin embargo para efectos de comparación entre un secador convencional y el secador solar propuesto se considera la contratación de un operario que gane el mismo sueldo cuyo valor de \$ 600 por mes, lo que implica que al realizar los cálculos de mantenimiento para este secador solar se hacen iguales consideraciones que para el secador convencional, esto es:

Sueldo mensual del operario: \$600,00

Ciclos de secado por mes: 2 ciclos



Cantidad de madera por ciclo: 15 m³

Cantidad de madera por mes: 30m³

Por lo que se tiene:

Costo de mantenimiento por m³: $\$600,00/30m^3 = \$20/m^3$ que representa el costo de mantenimiento del secador solar.

5.7. Análisis costo-beneficio de las alternativas propuestas

Para el análisis costo-beneficio de las alternativas propuestas se realiza la evaluación económica del secador solar propuesto y la del secador convencional proformado en donde se calculan los valores de: flujo de dinero, tasa interna de retorno (TIR), el valor presente neto (VAN).

Flujo de Dinero: El flujo de dinero es la diferencia de los ingresos menos los egresos en un determinado período.

Valor Actual Neto (VAN): El valor actual neto es una herramienta financiera utilizada principalmente para valorar las inversiones en activos fijos. El análisis puede realizarse desde tres posibles resultados que son:

- Valor Actual Neto es mayor a cero ($VAN > 0$)
- Valor Actual Neto es menor a cero ($VAN < 0$)
- Valor Actual Neto es igual a cero ($VAN = 0$)

Valor Actual Neto es mayor a cero ($VAN > 0$): Cuando se obtiene un $VAN > 0$ se considera que la inversión producirá ganancias por encima de la tasa de rendimiento (rentabilidad exigida). Aquí se considera que el proyecto es rentable, que el proyecto va a generar valor por lo que puede ser aceptado.

Valor Actual Neto es menor a cero ($VAN < 0$): Cuando se obtiene un $VAN < 0$ se considera que la inversión producirá pérdidas por debajo de la tasa de rendimiento (rentabilidad exigida). Aquí se considera que el proyecto no va a generar valor por lo que debe ser rechazado.

Valor Actual Neto es igual a cero: Si se tiene un $VAN = 0$ la inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas se entiende que el proyecto no genera valor monetario, la decisión de aceptar o rechazar el proyecto debe tomarse en función de parámetros no financieros como por ejemplo imagen de la empresa.



Para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) se puede utilizar la fórmula

$$VAN = -I + \frac{Co}{(1+r)^1} + \frac{Co}{(1+r)^2} + \frac{Co}{(1+r)^3} + \dots + \sum_{t=1}^T \frac{Ct}{(1+r)^t}$$

En donde:

VAN = Valor Actual Neto

I = Inversión Inicial

Co = Flujo de Dinero

r = Es la tasa de rentabilidad mínima o costo de oportunidad

t = Número de períodos (Enciclopedia Financiera, 2017).

La Tasa Interna de Retorno (TIR): La tasa interna de retorno puede ser utilizada como un indicador de la rentabilidad de un proyecto, o sea es una herramienta financiera que se utiliza para la toma de decisiones de aceptar o rechazar un proyecto de inversión. Para el análisis el TIR se compara con la tasa de descuento llamada también tasa de retorno que es el valor mínimo requerido de rentabilidad de la inversión que no tiene riesgo. Así se tiene que si el TIR es mayor a la tasa de retorno, la inversión puede ser aceptada caso contrario debe ser rechazada debido a que la rentabilidad del proyecto es menor a la rentabilidad mínima requerida.

La tasa interna de retorno es la tasa efectiva anual o tasa de descuento que hace que el valor actual neto (VAN) de todos los flujos de efectivo (positivos y negativos) de una inversión sean iguales a cero (Enciclopedia Financiera, 2017)

Para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) se puede utilizar la fórmula

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{Rt}{(1+r)^t} = 0$$

En donde:

t = Período de tiempo

r = Tasa de descuento o tasa de rentabilidad

Rt = Flujo de efectivo (Enciclopedia Financiera, 2017)

Para la obtención de estos valores se consideran condiciones similares de operación de los secadores para lo cual se toma en cuenta: cantidad de madera a secar, misma que está en función de la capacidad del secador diseñado



(15m³), ciclos de secado por mes, en donde se considera ciclos de 15 días con lo cual se obtiene 2 ciclos de secado por mes.

Los ingresos y egresos por concepto de secar madera, se los obtiene al considerar que al disponer de un secador se deja de pagar el servicio de secado al cual se puede acceder.

Para apoyar este análisis de igual forma se procedió a solicitar proforma del costo del secado de madera que brinda una empresa local, siendo el valor proformado de \$ 70,00 por metro cúbico (ver anexo 8).

Se considera una tasa de descuento o tasa de rentabilidad de 12,5% debido a que este es un valor promedio con el cual las instituciones financieras están operando para proyectos productivos en donde el período máximo de financiamiento es de 5 años.

A continuación se detalla las condiciones que se consideran para realizar la evaluación económica tanto para el secador convencional como para el secador solar:

- Capacidad del secador 15 m³ por ciclo (600 tablones)
- Ciclos de secado: 2 ciclos por mes
- Total de madera a secar por mes 30 m³ (1200 tablones)
- Costo de secado: \$70,00 por m³ (ver anexo 8)
- Tasa de descuento: 12,50%
- Período considerado: 5 años

Evaluación Económica del Secador Convencional.- Para este tipo de secador se debe tomar en cuenta la inversión inicial que corresponde al costo de adquisición de un secador convencional, la tasa de descuento, número de períodos para realizar el análisis financiero, según esto se tiene:

Inversión: Es el costo de adquirir o costo de compra del secador convencional proformado, su valor es **\$39.772,32.**



Tasa de Descuento: 12,50% Es el interés del crédito que prestan los bancos para proyectos productivos o proyectos de emprendimiento para las pequeñas y medianas empresas.

Número de períodos: **5 años**

Ingresos.- Para el cálculo de los ingresos se considera al valor de secado de madera por m³ como si se fuese a brindar el servicio de secado o como si fuese el valor que se deja de pagar por concepto de secar la madera. Bajo esta consideración se tiene.

Ingresos mensuales = Cantidad de Madera secada X Costo de secado

Ingresos mensuales = 30 m³ al mes x \$70,00 costo de m³ = **\$2.100,00**

Ingresos anuales: **\$25.200,00** (\$2.100,00 x 12 meses)

Egresos.- El cálculo de los egresos está determinado por dos valores bien definidos que son: el costo de operación del secador convencional y costo de mantenimiento:

Egresos mensuales

Para determinar el costo de operación se toma en cuenta:

Costo de operación se toma en cuenta como combustible diésel el cual tiene un costo de \$14,69 por ciclo de secado de madera.

Costo de operación: \$440,70 (\$14,69 x 2 ciclos x 15m³)

Costo de mantenimiento: \$600,00 (Sueldo mensual de trabajador)

Costo de operación: \$440,70

Costo de mantenimiento: \$600,00

Costo mensual: \$1.040,70

Costo Anuales: \$12.488,40 (\$1.040,70 x 12 meses)

Flujo de Dinero: El flujo de dinero es la diferencia de los ingresos anuales menos los costos anuales

Flujo de Dinero: \$12.511,60 (\$25.200 - \$12.488,40)

Cálculo del Valor Actual Neto (VAN): Sabiendo que los flujos de dinero son constantes y el período analizado es de 5 años se, se tiene que la fórmula es:

$$VAN = -I + \frac{C1}{1+r} + \frac{C1}{(1+r)^2} + \frac{C1}{(1+r)^3} + \frac{C1}{(1+r)^4} + \frac{C1}{(1+r)^5}$$

En donde:

VAN = Valor Actual Neto

I = Inversión Inicial

C = Flujo de Dinero o Flujo de Efectivo

r = Es la tasa de rentabilidad mínima o costo de oportunidad

t = Número de períodos (Enciclopedia Financiera, 2017).

Reemplazando valores se tiene:

$$VAN = -39772,32 + \frac{12511,60}{1+0,125} + \frac{12511,60}{(1+0,125)^2} + \frac{12511,60}{(1+0,125)^3} + \frac{12511,60}{(1+0,125)^4} + \frac{12511,60}{(1+0,125)^5}$$

$$VAN = 4802,73$$

El cálculo del VAN se lo realiza para un período de 5 años, y, aplicando la formula indicada y reemplazando valores se obtiene un valor positivo de 4.802,73 lo que significa que el proyecto es rentable por tanto se puede aceptar el proyecto de instalación de un secador convencional para madera.

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR): La tasa interna de retorno puede ser calcula utilizando la formula

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{Rt}{(1+r)^t} = 0$$

En donde:

t = Período de tiempo

i = Tasa de descuento o tasa de rentabilidad

Rt = Flujo de efectivo

Para el período de 5 años y reemplazando valores se tiene:

$$VAN = -Co + \frac{R1}{1+r} + \frac{R1}{(1+r)^2} + \frac{R1}{(1+r)^3} + \frac{R1}{(1+r)^4} + \frac{R1}{(1+r)^5} = 0$$

$$VAN = -39772,32 + \frac{12511,60}{1+r} + \frac{12511,60}{(1+r)^2} + \frac{12511,60}{(1+r)^3} + \frac{12511,60}{(1+r)^4} + \frac{12511,60}{(1+r)^5}$$

Por definición la tasa interna de retorno es la tasa efectiva que hace que el valor actual neto (VAN) de todos los flujos de efectivo (positivos y negativos) sea igual a cero y aplicando en la fórmula y reemplazando valores se tiene:

$$0 = -39772,32 + \frac{12511,60}{1+r} + \frac{12511,60}{(1+r)^2} + \frac{12511,60}{(1+r)^3} + \frac{12511,60}{(1+r)^4} + \frac{12511,60}{(1+r)^5}$$

Por tanto el valor de "r" (tasa efectiva o TIR) se obtiene despejando de la ecuación y se resuelve aplicando el método de regresión lineal. Para esto se asignan valores a r de tal forma que al ser reemplazados en la ecuación se obtengan valores positivos y negativos lo más cercanos a cero. Para el caso del secador convencional se tiene:

Se asigna el valor de $i = 17\%$ con lo que se obtiene un valor positivo del VAN cercano a cero.

$$\text{VAN} = -39772,32 + \frac{12511,60}{1+0,17} + \frac{12511,60}{(1+0,17)^2} + \frac{12511,60}{(1+0,17)^3} + \frac{12511,60}{(1+0,17)^4} + \frac{12511,60}{(1+0,17)^5}$$

$$\text{VAN} = 269,506$$

Se asigna el valor de $i = 18\%$ con lo que se obtiene un valor negativo del VAN cercano a cero.

$$\text{VAN} = -39772,32 + \frac{12511,60}{1+0,18} + \frac{12511,60}{(1+0,18)^2} + \frac{12511,60}{(1+0,18)^3} + \frac{12511,60}{(1+0,18)^4} + \frac{12511,60}{(1+0,18)^5}$$

$$\text{VAN} = -568,82$$

Ahora por regresión lineal:

$$\frac{17 - 18}{(269,50) - (-568,82)} = \frac{17 - \text{TIR}}{(269,50 - 0)}$$

Resolviendo la ecuación y despejando TIR:

$$\text{TIR} = 17,96$$

El valor del TIR es de 17.96% siendo este un valor superior a la tasa de rentabilidad (12,5%) lo que permite considerar al proyecto como rentable

Evaluación Económica del Secador Solar.- Para este tipo de secador se tiene:

Inversión.- Es el costo obtenido de la fabricación del secador solar en estudio y su valor es de **\$14.329,38**

Tasa de Rentabilidad: 12,5%



Periodo.- 5 años

Ingresos.- Para el cálculo de los ingresos se considera al valor de secado de madera por m³ como si se fuese a brindar el servicio de secado o como si fuese el valor que se deja de pagar por concepto de secar la madera. Bajo esta consideración se tiene.

Ingresos mensuales: **\$2.100,00** (15m³ x 2 ciclos al mes x \$70,00 costo de m³)

Ingresos anuales: **\$25.200,00**

Egresos.- Para el cálculo de los egresos se toma en cuenta el valor de mantenimiento y del consumo eléctrico, debido a que se considera los costos térmico igual a \$ 0,00 (cero)

Egresos mensuales

Costo de operación se toma en cuenta el valor de consumo eléctrico \$7,69 por ciclo de secado y por m³ de madera, lo que representa \$15,38 al mes

Costo de operación: **\$230,70** (\$7,69 x 2 ciclos x 15m³)

Costo de mantenimiento Sueldo mensual de un trabajador: \$600,00

Costo de operación: \$230,70 (\$14,69 x 2 ciclos)

Costo de mantenimiento: \$600,00

Costo mensual: \$830,70

Costo Anuales: \$9.968,40 (\$830,70 x 12 meses)

Flujo de Dinero: El flujo de dinero es la diferencia de los ingresos anuales menos los costos anuales

Flujo de Dinero: **\$15.031,60** (\$25.200 - \$9.968,40)

Cálculo del Valor Actual Neto para el secador solar: para el cálculo del VAN para el secador solar se sigue los mismos principios y metodología de cálculo que el realizado para el secador convencional y utilizando la fórmula de cálculo

$$VAN = C_0 + \frac{C_1}{1+r} + \frac{C_1}{(1+r)^2} + \frac{C_1}{(1+r)^3} + \frac{C_1}{(1+r)^4} + \frac{C_1}{(1+r)^5}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$VAN = -14329,38 + \frac{15231,60}{1 + 0,125} + \frac{15231,60}{(1 + 0,125)^2} + \frac{15231,60}{(1 + 0,125)^3} + \frac{15231,60}{(1 + 0,125)^4} + \frac{15231,60}{(1 + 0,125)^5}$$

$$VAN = 39936,22$$

Se observa que el valor actual neto (VAN) obtenido es de: VAN= 39.936,22 siendo un valor positivo lo que indica que el proyecto es rentable por tanto se puede aceptar y recomendar la instalación de un secador solar para madera.

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno para el Secador Solar: De igual manera para el cálculo de la TIR para el secador solar se la realizó utilizando la fórmula indicada para el cálculo de la TIR.

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{Rt}{(1+r)^t} = 0$$

$$VAN = -Co + \frac{R1}{1+r} + \frac{R1}{(1+r)^2} + \frac{R1}{(1+r)^3} + \frac{R1}{(1+r)^4} + \frac{R1}{(1+r)^5} = 0$$

$$VAN = -14239,38 + \frac{15231,60}{1+r} + \frac{15231,60}{(1+r)^2} + \frac{15231,60}{(1+r)^3} + \frac{15231,60}{(1+r)^4} + \frac{15231,60}{(1+r)^5}$$

Por definición la tasa interna de retorno es la tasa efectiva que hace que el valor actual neto sea igual a cero y aplicando en la fórmula y reemplazando valores se tiene:

$$0 = -14239,38 + \frac{15231,60}{1+r} + \frac{15231,60}{(1+r)^2} + \frac{15231,60}{(1+r)^3} + \frac{15231,60}{(1+r)^4} + \frac{15231,60}{(1+r)^5}$$

Por tanto el valor de "r" (tasa efectiva o TIR) se obtiene despejando de la ecuación y se resuelve aplicando el método de regresión lineal. Para esto se asignan valores a r de tal forma que al ser reemplazados en la ecuación se obtengan valores positivos y negativos lo más cercanos a cero. Para el caso del secador solar se tiene:

Se asigna el valor de i = 100% con lo que se obtiene un valor positivo del VAN cercano a cero.



$$VAN = - 39772,32 + \frac{15231,60}{1 + 1} + \frac{15231,60}{(1 + 1)^2} + \frac{15231,60}{(1 + 1)^3} + \frac{15231,60}{(1 + 1)^4} + \frac{15231,60}{(1 + 1)^5}$$

$$VAN = 516,22$$

Se asigna el valor de $i = 105\%$ con lo que se obtiene un valor negativo del VAN cercano a cero.

$$VAN = - 39772,32 + \frac{15231,60}{1 + 1} + \frac{15231,60}{(1 + 1)^2} + \frac{15231,60}{(1 + 1)^3} + \frac{15231,60}{(1 + 1)^4} + \frac{15231,60}{(1 + 1)^5}$$

$$VAN = - 130,46$$

Ahora por regresión lineal:

$$\frac{100 - 105}{(516,22) - (-130,46)} = \frac{100 - TIR}{(516,22 - 0)}$$

Resolviendo la ecuación y despejando TIR:

$$\mathbf{TIR = 104\%}$$

El valor obtenido de la tasa interna de retorno (r) es de 104% lo que indica que el proyecto es rentable y puede ser aceptado debido a que la rentabilidad es superior al $12,5\%$.

Del estudio sobre la fabricación de un secador solar para la ciudad de Cuenca se puede notar que presenta aspectos favorables en lo técnico en lo económico mismos que serán analizados en el siguiente capítulo.



Capítulo 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El presente trabajo presenta el diseño de un secador solar para madera aserrada, mismo que luego del estudio y evaluación de su funcionamiento y costos se puede concluir que este secador solar es una alternativa para que el secado artificial de madera se lo realice utilizando este tipo de secadores, siendo esta una opción real para implementarse en la ciudad de Cuenca.

Esta afirmación se respalda en las conclusiones técnicas, económicas, y sociales que cumplen con el objetivo general y con los objetivos específicos planteados.

Las conclusiones a continuación se detallan.

1.- La ciudad de Cuenca es un polo de desarrollo local, regional y nacional de la industria de la madera y muebles puesto que en esta ciudad se elaboran cerca del 70% de los muebles que se comercializan en el Ecuador. Esta actividad industrial involucra el trabajo directo de más de 3000 personas, lo que representa un importante y considerable segmento de la fuerza laboral de la región.

2.- En la ciudad de Cuenca se consume 4205 metros cúbicos de madera de diferentes especies entre las que se destaca la especie de Fernan Sánchez con el 59,98%, Laurel, 14,47%, Colorado Manzano con el 5,5%, Eucalipto con 4,9%, seguidas de otras especies de menor participación en el consumo de madera de la ciudad de Cuenca.

3.- Es necesario adoptar sistemas de secado artificial al ciclo productivo, de tal manera que permitan reducir el tiempo de secado de la madera, de tal forma que pueda ser utilizada en períodos de tiempos más cortos que el utilizado cuando se seca de manera natural, lo cual determina una mayor eficiencia del



secador solar en términos de aprovechamiento de la energía solar que llega a la ciudad de Cuenca.

Al comparar los tiempos de secado de un secador solar con los de un secador convencional, se entiende que no es posible mantener estable las 24 horas del día la temperatura y humedad del aire al interior del secador solar, sin embargo en la práctica el proceso de secado no se interrumpe: durante las horas de sol se intensifica el secado superficial por un mayor calentamiento del aire, en tanto que durante la noche se intensifica la difusión de la humedad desde el interior del material hacia su superficie. Ello resulta en que el secado solar de madera, transcurre en un tiempo similar (no igual) al que se emplea en el secador convencional (Delgado., 2017).

4.- El diseño y construcción de un secador solar no requiere de equipos o accesorios sofisticados para su fabricación y funcionamiento, pues el material con el que se puede construir el secador solar es fácil de adquirir en el mercado local y existe el conocimiento técnico y la mano de obra calificada para la construcción de este tipo de secador.

5.- Por la ubicación geográfica en donde se encuentra la ciudad de Cuenca existen las condiciones climáticas, atmosféricas, necesarias y suficientes como para construir el secador solar diseñado en este estudio.

6.- Del estudio y la evaluación económica realizada a los dos tipos de secadores (Secador solar y secador convencional) se puede concluir lo siguiente.

- La inversión inicial que se debe realizar para contar con un secado artificial de madera es menor con la implementación de un secador solar (\$14.871,60) que cuando se emplea un secador convencional (\$39.772,32).
- El costo de operación y funcionamiento de un secador solar es de \$7,69 por ciclo de secado, y el de un secador convencional que utiliza el diésel como combustible es de \$14,69, lo que nos indica que es más económico la operación y funcionamiento de un secador solar.
- El secado artificial de madera mediante la utilización del secador solar diseñado es más rentable que el secado de madera que se realiza al



utilizar el secador convencional, esto se concluye debido a que la Tasa Interna de Retorno (TIR) del secador solar es de 104% y la Tasa Interna de Retorno del secador convencional es de 17,96%.

- De igual manera sucede cuando se realiza el análisis del Valor Actual Neto (VAN) para el secador solar es mayor (39.936,23) al del secador convencional (4.802,73), en donde se puede apreciar que si bien ambos valores son positivos y el proyecto puede ser aceptado el valor del VAN del secador solar es mayor al del secador convencional, por lo que se considera que la implementación de un sistema de secado artificial mediante la utilización de un secador solar es un proyecto superior y de mayor rentabilidad al que podría ser con la utilización de un secador convencional.



6.2. Recomendaciones

En lo referente a las recomendaciones se puede decir que con el respaldo del estudio realizado se puede sugerir e incentivar a los productores e involucrados en la industria de la madera y mueble adopten el secado artificial mediante el empleo de un secador solar debido a que este secador cumple con las condicionante para garantizar un secado artificial de madera acorde a las necesidades del sector.

Es importante que los gremios relacionados con el sector de la madera y muebles encaminen acciones que fortalezcan la formación de los actores involucrados en los campos de educación y capacitación de tal forma que se conozcan más a fondo las ventajas que presenta esta forma de secar la madera y por consiguiente la mejora en los procesos productivos.



7. Bibliografía

- alcantar, G. A. (22 de mayo de 2015). *SliderShare*. Obtenido de SliderShare: www.slideshare.net
- Alcantar, G. A. (22 de mayo de 2015). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare: www.slideshare.net
- (2013). *Análisis de la Cadena Global de Valor para Cuenca, Ecuador*. Cuenca.
- Aravena, P. (2008). *CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA*. TALCA: Universidad de Talca.
- ARQHYS. (04 de 04 de 2017). *ARQHYS*. Obtenido de ARQHYS.COM: <http://www.arqhys.com/contenidos/resistencia-del-concreto.html>
- Bond. (2011). *Diseño y operación de un Secador Solar de Madera para Países Tropicales*. Ashville: Estación de Investigación del Sur.
- Bond., B. E. (2011). *Diseño y operación de un Secador Solar de Madera para Países Tropicales*. Ashville: Estación de Investigación del Sur.
- Bravo, N. (12 de diciembre de 2016). *Monografías*. Obtenido de Monografías: <http://www.monografias.com/trabajos75/manual-identificacion-maderas-forestales/manual-identificacion-maderas-forestales2.shtml>
- Calderón, A. D. (1993). *SECADO DE LA MADERA. CUADERNOS DE DASONOMÍA*, 23.
- Calleros, H. (2012). *Tecnología de la Madera*. Montevideo: C.E.T.P.
- Campos, R. (23 de agosto de 2007). Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos48/maderas/maderas.shtml>
- Campos, R. (23 de agosto de 2007). Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos48/maderas/maderas.shtml>
- Campos, R. (23 de agosto de 2007). Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos48/maderas/maderas.shtml>
- Carvallo, L. (4 de junio de 2017). *Monografías*. Obtenido de Monografías: <http://www.monografias.com>
- CEDRIA. (2015). *ALBURA. CEDRIA*, 5.
- Coca, R. (2002). *Introducción a la meteorología*. Mexicali y Baja California: UABC.
- Corporación Andina de Fomento. (2013). *Análisis de la Cadena Global de Valor para Cuenca, Ecuador Muebles de Madera*. Cuenca: Global Development Solutions. LLC.
- Delgado., M. V. (23 de 02 de 2017). *Familia de secadores solares*. Obtenido de Cubasolar.cu: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia30/HTML/articulo02.htm>
- Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico . (2012). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD COMERCIAL, SOCIAL Y ECONÓMICA PARA LA INSTALACIÓN DEL PROYECTO "CENTRO DE FOMENTO–INNOVACENTRO DE LA MADERA Y MUEBLE" COMO PROYECTO CLAVE DE LA CADENA REGIONAL PRODUCTIVA DE LA MADERA*. Cuenca: EDEC EP.
- Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico. (2012). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD COMERCIAL, SOCIAL Y ECONÓMICA PARA LA INSTALACIÓN DEL PROYECTO "CENTRO DE*



FOMENTO–INNOVACENTRO DE LA MADERA Y MUEBLE" COMO PROYECTO CLAVE DE LA CADENA REGIONAL PRODUCTIVA DE LA MADERA. Cuenca: EDEC EP.

- Enciclopedia Financiera. (20 de junio de 2017). *Enciclopedia Financiera*. Obtenido de Enciclopedia financiera: <http://www.encyclopediainanciera.com/finanzas-corporativas/valor-presente-neto.htm>
- Euskalmet. (21 de 03 de 2017). *Euskalmet.euskadi.eus*. Obtenido de Euskalmet.euskadi.eus: http://www.euskalmet.euskadi.eus/s07-5921/es/contenidos/informacion/ana_insolacion/es_7268/es_insolacion.html
- Foglia, R. C. (2005). Conceptos básicos sobre el secado de la madera. *Kuru: Revista Forestal*, 5.
- García, C. (11 de junio de 2017). *Docplayer*. Obtenido de Docplayer: <http://docplayer.es/14605694-11-la-madera-estructura-funcion-formacion-y-mantenimiento.html>
- IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2006). *Gía Solar Térmica*. Madrid: IDAE.
- IDEA (Instituto para la Diversificación de Ahorro de la Energía). (2006). *Energía solar térmica*. Madrid: IDEA.
- Infomadera. (2 de junio de 2017). *Infomadera*. Obtenido de Infomadera: http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_3239_11585.pdf
- Ministerio de Fomento Industria y Comercio . (2005). *Tecnología de la Madera y Materiales*. Managua: MIFIC.
- Ministerio Industria y Productividad - MIPRO. (2012). *Convenio MIPRO - EDEC EP*. CUENCA.
- Mogrovejo, W. S. (2011). Análisis de factibilidad técnica y económica en la implementación de energía fotovoltaica y termo solar para generación de electricidad y calentamiento de agua mediante paneles solares fijos y con un seguidor de sol de construcción casera, para una vivien. En S. Mogrovejo, *diante paneles solares fijos y con un seguidor de sol de construcción casera, para una vivien* (pág. 234). Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Muñoz, F. (2008). Secado de la madera aserrada. *Kuru: Revista Forestal*, 6.
- Muñuzuri, S. N. (2006). *Fundamentos de meteorología*. Santiago de Compostela: Universidad Santiago de Compostela.
- Nardi. (15 de abril de 2017). *nardi*. Obtenido de nardi: <http://www.nardi.it/esp/home.html>.
- Newtoncnice. (10 de junio de 2017). *newton.cnice*. Obtenido de newton.cnice: http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm
- Orellana, M. D. (2015). *Estimacion de la Radiación Global Solar Diaria en el Canton Cuenca mediante la aplicación del model Bristow & Campbell*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- Pacco, K. (06 de julio de 2010). *monografias.com*. Obtenido de monografias.com: <http://www.monografias.com/trabajos82/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones2.shtml>



- PROECUADOR. (2 de febrero de 2017). *PROECUADOR*. Obtenido de PROECUADOR: <http://www.proecuador.gob.ec/exportadores/sectores/madera/>
- PV MAGAZINE. (7 de Julio de 2015). *pv-magazine*. Obtenido de pv-magazine-latam.com: <https://www.pv-magazine-latam.com/region/ecuador/>
- Revista Chapingo. (2003). CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA. *Revista Chapingo Series Ciencias Forestales y el Ambiente*, 171 - 176.
- Revista Chapingo. (2003). CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA ASERRADA. *Revista Chapingo*, 1-6.
- Salas, C. R. (2008). Diseño y Construcción de un Secador Solar para Madera. *Kuru: Revista Forestal*, 26.
- Samaniego, G. D. (2015). *Estimacion de la Radiación Global Solar Diaria en el Canton Cuenca mediante la aplicación del model Bristow & Campbell*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- SELTAR. (17 de MARZO de 2017). Obtenido de SELTAR: <http://www.secaderos-seltar.com/MINI.HTML>
- SELTAR, A. D. (17 de 3 de 2017). *secaderos-seltar.com/CONSUMO.HTML*. Obtenido de [secaderos-seltar.com/CONSUMO.HTML](http://www.secaderos-seltar.com/CONSUMO.HTML): <http://www.secaderos-seltar.com/CONSUMO.HTML>
- Steca Elektronic. (15 de abril de 2017). *Steca Elektronic*. Obtenido de Steca Elektronic: http://www.steca.com/index.php?Sistemas_solares_termicos
- Textos Cientificos. (4 de junio de 2017). *Textos científicos*. Obtenido de textos Cientificos: <http://www.textoscientificos.com>
- Vásquez Calero, F. U. (2015). Energía Solar en el Ecuador. En M. y. Peláes Samaniego, *Energías renovables en el Ecuador Situación actual, tendencias y perspectivas* (pág. 424). Cuenca: Peláes Samaniego, M:R. y Espinoza Abad, J:L Universidad de Cuenca, Gráficas Hernandez.
- verfotosde. (13 de febrero de 2017). *verfotosde*. Obtenido de verfotosde: <http://www.verfotosde.org/ecuador/coordenadas.php?Cuenca&id=79>
- Vignote, S. I. (2006). *Tecnología de la Madera*. Madrid: Ediciones Mundi - Prensa.
- Weatherbase. (13 de febrero de 2017). *Weatherbase*. Obtenido de beatherbase: <http://www.weatherbase.com/search/search.php3?query=Cuenca%2CAzuay%2C+Ecuador>
- yoreparo. (31 de 8 de 2016). *Yoreparo*. Obtenido de Yoreparo: <http://linea-blanca.yoreparo.com/ventiladores/ventilador-de-techo-marca-vec-gira-al-reves-t1620567.html>



ANEXOS

ANEXO 1

Proforma de un secador convencional

SELTAR[®]

SISTEMAS TÉCNICOS DE SECADO, S.L.

Ctra. del Mig, 193, Nau 6
08907 L'HOSPITALET
BARCELONA - ESPAÑA
Tel. 34 93 336 01 11
Fax 34 93 336 04 32
www.secaderos-seltar.com
e-mail: info@secaderos-seltar.com

NIF: B-61000485

L'Hospitalet 2017-02-08

*SEÑOR INGENIERO
RAUL CONTRERAS
CIUDAD.*

INFORMACIÓN DE SECADERO SELTAR:

SECADERO PARA MADERA SERIE MADT-MD, PARA MADERAS DE MEDIA Y ALTA DENSIDAD, VOLUMEN DE MADERA 20 M3 (400 TABLONES)

LOS SECADEROS MADT-MD HAN SIDO DISEÑADOS PARA SECAR TODAS LAS ESPECIES DE MADERA, EN ESPECIAL MADERAS DE MEDIA Y ALTA DENSIDAD. CON CIRCULACIÓN REVERSIBLE Y EQUIPADOS CON TURBO-EXTRACTORES SELTAR EN LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE AIRE.

CARACTERÍSTICAS GENERALES: ALTA VELOCIDAD DE AIRE, CIRCULACIÓN REVERSIBLE, DOBLE SISTEMA DE HUMIDIFICACION AUTOMATICA, TURBO EXTRACTORES SELTAR PARA ENTRADA Y SALIDA DE AIRE Y PROGRAMADOR ELECTRÓNICO ADV 3 DE TRABAJO AUTOMATICO.

CALIDADES

DADO EL ALTO CONTENIDO EN ACIDO DE LAS ESPECIES A SECAR, EL SECADERO MADT-MD EQUIPA TODOS SUS COMPONENTES FABRICADOS TOTAL O PARCIALMENTE EN ACERO INOXIDABLE, ASI SE CONSTRUYEN EN ESTE MATERIAL.



-VENTILADORES: ACERO INOXIDABLE, CON MOTOR SIEMENS CLASE H

-INTERCAMBIADOR DE CALOR: MARCOS Y COLECTORES EN ACERO INOXIDABLE Y TUBOS DE COBRE, CON ALETEADO DE ALTA DENSIDAD EN ALUMINIO.

-SISTEMAS DE EXTRACCIÓN-INYECCION: TURBO EXTRACTORES SELTAR, VENTILAS MOTORIZADAS EN ACERO INOXIDABLE Y EQUIPADOS ADEMÁS CON VENTILADOR HELICOIDAL REVERSIBLE TAMBIEN EN ACERO INOXIDABLE DIÁMETRO 300 mm.

-MARCOS DE FIJACIÓN: CERRADO EN ACERO INOXIDABLE

TIEMPOS DE SECADO

EXISTE EN EL MANUAL DE SECADO UNA TABLA DE TIEMPOS PARA CADA MADERA Y ESPESOR, PUDIÉNDOSE CALCULAR UN PROMEDIO DE 3 DIAS POR CENTÍMETRO DE ESPESOR PARA MADERAS MEDIAS (HASTA 650 Kg/m³) CON ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL Y HASTA 6 DIAS POR CENTÍMETRO DE ESPESOR PARA MADERAS DURAS.

CAMARA DE SECADO

LA CAMARA DE SECADO PUEDE PERFECTAMENTE CONSTRUIRSE EN OBRA DE ALBAÑILERÍA SIMPLE CON EL UNICO REQUERIMIENTO TÉCNICO DE PROCEDER A SU AISLAMIENTO TERMICO CON UN PROYECTADO DE POLIURETANO EN SU CARA INTERIOR (PAREDES Y TECHO) CON UN ESPESOR MINIMO DE 3 cm.

PARA ESTA CAMARA EN OBRA PODEMOS OFRECERLES LA PUERTA DE CARGA CONSTRUIDA CON PANEL SELTAR DE 60 mm DE ESPESOR ACABADO CON ACERO INOXIDABLE EN AMBAS CARAS. LA PUERTA SE OFRECE DE LA MEDIDA DEL ANCHO DE LA CAMARA, CONSTRUIDA CON BASTIDOR DE ACERO INOXIDABLE. LA PUERTA GENERALMENTE ES ABISAGRADA Y DE 2 HOJAS, POR EL PRECIO DE USD \$ 2000.00

TAMBIEN PODEMOS OFRECERLE LA CAMARA METALICA CONSTRUIDA CON PANEL SELTAR DE 60 mm DE ESPESOR ACABADO CON ACERO INOXIDABLE EN AMBAS CARAS POR EL PRECIO DE USD \$6400.00

SECADERO MADT-MD 2/56/3/100, CON LOS COMPONENTES:

CAPACIDAD 15 – 20 M3

**DIMENSIONES DE CAMARA****FRENTE** 3.00 m (TODOS UTILES PARA MADERA)**FONDO** 6,20 m (4.20 m PARA MADERA EN 4 PAQUETES DE 1 m DE FONDO)**ALTO** 3.30 m (2.50 m PARA MADERA)**PROGRAMADOR DE SECADO** ADV-3

-DE TRABAJO AUTOMATICO Y PROGRAMACIÓN AUTOMATICA O SEMIAUTOMÁTICA, CON MADOS PARA SELECCIÓN DE ESPECIES DE MADERA, ESPESORES Y FASES DE SECADO, CON PROGRAMAS DE PRESECADO, SECADO, RE-SECADO Y ESTABILIZADO.

-VISUALIZACION DE TODOS LOS PARÁMETROS DE SECADO:

-HUMEDAD DE MADERA

-TEMPERATURA REAL Y PROGRAMADA

-HUMEDAD DE CAMARA REAL Y PROGRAMADA

-HUMEDAD FINAL PROGRAMADA DE LA MADERA

-PILOTOS INFORMATIVOS DE SECUENCIAS DE SECADO Y ESTADO DE MOTORES

-CUADRO ELECTRICO DE CONTROL 1 CON CONTROLES PARA MANIOBRA Y PROTECCIÓN DE TODOS LOS MOTORES Y ELECTROVALVULAS. DE TRABAJO INTERCONECTADO CON EL PROGRAMADOR DE SECADO.

VENTILADORES 2 x 560 mm
POTENCIA MOTOR 2 HP
CAUDAL DE AIRE 32000 m3/hora
VELOCIDAD DEL AIRE 2 m/seg

CALEFACCIÓN 3 RADIADOR
DIMENSIONES 0.8 x 0.8 m
POTENCIA 100000 Kcal/hora
ELECTROVALVULA CONTROL 1



N° DE VIAS Y PASO	3 VIAS 2" PASO
TURBOEXTRACTORAS SELTAR	2
DIÁMETRO	300 mm
TRAMPILLA MOTORIZADA	SI
VENTILADOR REVERSIBLE	2
DIÁMETRO VENTILADOR	350 mm
CAPACIDAD DE EXTRACCIÓN	3500 LITROS/DIA

HUMIDIFICACION: DOBLE CIRCUITO DE HUMIDIFICACION, UNO PARA CADA SENTIDO DE GIRO DEL AIRE, CADA CIRCUITO EQUIPA ELECTROVALVULA DE HUMIDIFICACION Y BOQUILLAS PULVERIZADORAS DE AGUA FRIA.

CALDERA DE AGUA CALIENTE RECIRCULANTE CON LOS ACCESORIOS: BOMBA RECIRCULANTE, VASO DE EXPANSION DE 100 LT, TERMOSTATO Y MANÓMETRO, MANDOS ELECTRICOS Y MANUALES DE USO.

-MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y TABLAS DE UTILIZACIÓN Y SECADO

-3 CABLES TESTIGOS PARA MADERA, DE 5 m DE LONGITUD CADA UNO, CON PINZAS

-EMBALAJE DE TRANSPORTE

SECADERO MADT-MD 2/63/3/100 + CALDERA \$34800 USD+14% IVA

***NO INCLUYE COSTO DE CAMARA DE MAMPOSTERIA NI CAMARA METALICA**

PLAZOS DE ENTREGA: MÁXIMO 90 DIAS EN LA PLANTA DEL CLIENTE

GARANTIA: 3 AÑOS EN LOS ELEMENTOS FABRICADOS POR SELTAR, OTROS ELEMENTOS 1 AÑO

CONDICIONES DE VENTA: LOS PRECIOS INDICADOS SON NETOS, NO INCLUYEN IVA NI COSTO DE MANO DE OBRE PARA INSTALACION.

CONDICIONES DE PAGO:



1- ANTICIPO DE 50% A LA FIRMA DEL CONTRATO

2- 25% A 45DIAS

3-25 A LA ENTREGA Y PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

PARA MAYOR INFORMACIÓN VISITE NUESTRA PÁGINA: www.secaderos-seltar.com

SIN OTRO PARTICULAR, RECIBA UN CORDIAL SALUDO.

PABLO CHERRES VERDUGO

pablo.cherresv@gmail.com

0999745927

ANEXO 2

Proforma base de secador solar.

Cuenca, 15 de marzo de 2017

Ing.
Raúl Contreras
Ciudad.

De mis consideraciones:

Por medio de la presente nos es grato presentar la oferta solicitada por ustedes para la fabricación de una base de hormigón.

Cantidad	Detalle	V. Unitario	V.Total
25 m2	Base de hormigón armado con medidas de 5 m x 5 m con resistencia de 189 – 240 Kg/m2	\$20,00	\$ 500,00
	Subtotal		\$ 500,00
	TOTAL		\$ 500,00

Forma de pago:

60 % de anticipo (\$ 300,00)
40% contra entrega (\$ 200,00)

Tiempo de entrega: A convenir

Atentamente,



Arq. Marcelo Sempertegui.
Tel: 0993977027 / (07)4094348



ANEXO 3

Proforma paredes, puertas, ventanas.

 LINEA A1 m u e b l e s <i>Oficinas</i> • DIVISIONES Y SISTEMAS MODULARES •	ALMACÉN: SUCRE 5-61 ENTRE HNO. MIGUEL Y MARIANO CUEVA TELF.: 2826881 • TELEFAX: 2844236 FABRICA: VIA MISICATA 5-67 TELF.: 4195 205 E-mail: ventas2@lineaa1.com CUENCA-ECUADOR	PROFORMA Nº 0024633	
	FECHA: 11/04/2017	Arq. JORGE CARDENAS HERRERA R.U.C.: 0100870583001	
SOLICITADO POR: ING. RAUL CONTRERAS R.U.C. o C.I.: 0101867174 ATENCIÓN A: ING. RAUL CONTRERAS DIRECCIÓN: ANDALUCIA 1-33 2809 299 TELÉFONO: CUENCA FAX: CIUDAD:		FORMA DE PAGO: 60% INICIAL 40% CONTRAENTREGA Proforma: 001-001-000019929 Comp.: 24633	

REF.	DESCRIPCIÓN	CANT.	V. UNITARIO	VALOR TOTAL
	PANELEERIA estructura de madera, con tableros tropicalizados recubiertos de metal, interior de las estructuras se colocará lana de fibra de vidrio. Frente 4.20 x 3.32, Costados de 4.20 x 3.50 Cuatro ventanas de 1.00 x 1.00	62.04	70.18	4,353.97
Suma				4,353.97
ESPECIFICACIONES Y OBSERVACIONES		B.I. 14%		4353.9672
				0.00
				4,353.97
				609.56
PLAZO DE ENTREGA: 15 DÍAS LABORABLES				
SON:	CUATRO MIL NOVECIENTOS SESENTA Y TRES DÓLARES 52/100	EMPAJAJE/ TRANSPORTE		
				4,963.52
ESTA PROFORMA ES VALIDA	USUARIO	ALMACEN		
POR DÍAS				



ANEXO 4
Proforma techo secador solar

TALLERES PACHECO

PACHECO PESANTEZ JOSÉ EDUARDO
Dir: AVE. HURTADO DE MENDOZA 6-68
Y GUAPONDELIG
TELF: (07)4037634
CUENCA - ECUADOR

RUC:0702978321001

PROFORMA
No. 0000048

Cuenca, 5 de abril de 2017

Ingeniero Raúl Contreras
Ciudad.

Presentamos la cotización para la construcción de una estructura metálica en dimensiones de 4,20 m x 4,20 m según modelo presentado. La estructura estará construida por tubo rectangular de 2x1 pulgadas, pintada en color negro.

Costo de la Obra: \$ 2.381,40

Forma de pago: Cancelación total a la firma del contrato

José Pacheco
Gerente Propietario



ANEXO 5
Proforma Colector solar

PROFORMA
No. 0000049

Cuenca, 5 de abril de 2017

Ingeniero Raúl Contreras
Ciudad.

Presentamos la cotización para la construcción de una estructura metálica en dimensiones de 2,50 m x 3,00 m según modelo presentado. La estructura estará construida por una plancha rectangular de hierro negra de 3 mm pintada en color negro.

Costo de la Obra: \$ 300,00

Forma de pago: Cancelación total a la firma del contrato

Atentamente

José Pacheco
Gerente Propietario



ANEXO 6
Proforma ventiladores

Astima

Fans Offer

From : EXPORT DEPARTMENT
To : ING. RAUL CONTRERAS
Attention : CUENCA ECUADOR
About: Oferta 2017/04/12
Date: 12 April 2017
Pages: 1

Le pasamos oferta en respuesta a su solicitud

caudal: 21000 m³/h P. Est. : mm.c.a.

Modelo: HCH/SEC-71-4T-2 230/400V 60HZ *HELICE REVERSIBLE 90°

Ventilador diámetro 710 mm

Motor: 3,0KW 1450RPM 230/400V 60HZ

P.NETO: 1.800,00\$ / unit

Unidades: 2

Plazo: 4-5 semanas salida fabrica EXW SantQuirzeBesora

Condiciones de pago: 100 % transferencia anticipada.

Condiciones entrega: EXW SantQuirze de Besora

NOTA: En caso de pedido rogamos hagan referencia a nuestra oferta

SODECA, S.A.

Export – Technicaldepartment

ANEXO 7

Proforma secado de madera

MADERAS VALDEZ

VALDEZ ORDOÑES MIGUEL

Dirección: Los Andes 5 - 42 y Totoracocha Telefax: 4173-257 Telf: 2864-452 Cuenca Ecuador
 Venta de toda clase de maderas del Oriente y la Costa como: seique, Laurel, Caoba, Romerillo,
 Cedro, Canelo, Copal, Fernán S, Chanul, molduras, duelas, tiras, tarugods, torneados.

PROFORMA No. 0001205

Fecha: Cuenca, 27 de marzo de 2017

Cliente: Ingeniero Raúl Contreras

Telef: 280 9299

Dirección: Andalucía 1 - 33

CANT	DESCRIPCION	V. UNITARIO	V. TOTAL
1 m3	Servicio de Secado de madera	\$ 61,40	\$61,40
	SUBTOTAL		\$ 61,40
	14% IVA		\$ 8,60
	TARIFA 0%		-----
	TOTAL		\$ 70,00

CONDICIONES:

- La madera deberá ser depositada en las instalaciones de LADERAS VALDEZ
- Mínimo de tablones a secar será de 860 y el máximo de tablones será de 940
- El secado estará sujeto a disponibilidad del horno de secado

Atentamente


 Miguel Valdez O.
 Maderas Valdez