



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

DISEÑO DE UN HORNO SECADOR DE MADERA

David Estuardo Gómez Quemé

Asesorado por el Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco

Guatemala, agosto de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN HORNO SECADOR DE MADERA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

DAVID ESTUARDO GÓMEZ QUEMÉ
ASESORADO POR EL ING. ESDRAS MIRANDA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de Lòpez
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivònne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Arrivillaga Ramazzini
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivònne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE UN HORNO SECADOR DE MADERA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 20 de noviembre de 2007.

David Estuardo Gómez Quemé

AGRADECIMIENTOS A:

- DIOS** Por ser la luz que en todo momento de mi carrera estuvo presente, por darme la fuerza y entendimiento para terminar este trabajo.
- MIS PADRES** Por la ayuda incondicional a lo largo de mi carrera.
- MI ESPOSA** Por el amor y el apoyo demostrado.
- MI HIJO** Por llenar mi vida de amor y alegría.
- MI SUEGROS** Por la ayuda que me han dado.
- MI FAMILIA** Agradecimientos eternos.

Guatemala, 10 de Julio de 2008

Ing.

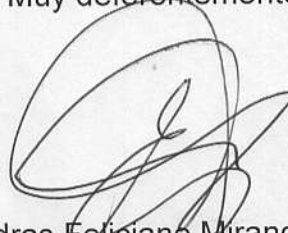
Álvaro Antonio Ávila Pinzón
Coordinador del Área de Diseño
Escuela de Ingeniería Mecánica

Señor Coordinador:

Por medio de la presente, informo a usted que he revisado el trabajo de graduación titulado: **"DISEÑO DE UN HORNO SECADOR DE MADERA"**, el cual fue realizado por el estudiante DAVID ESTUARDO GÓMEZ QUEMÉ, el cual lo encuentro satisfactorio.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Muy deferentemente,



Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
Colegiado 4637
Asesor


Ing. Esdras Miranda Orozco
COLEGIADO 4637



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado DISEÑO DE UN HORNO SECADOR DE MADERA, del estudiante David Estuardo Gómez Quemé, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Alvaro Antonio Avila Pinzón
Coordinador de Área

Guatemala, julio de 2008.

/behdei



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Diseño al Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN HORNO SECADOR DE MADERA**, del estudiante **David Estuardo Gómez Quemé**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, agosto de 2008.

/behdei

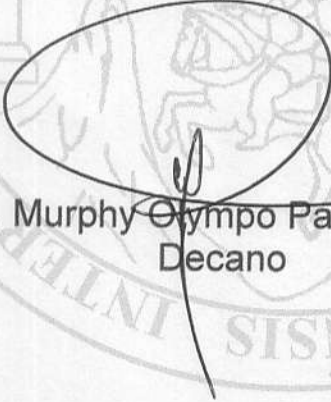


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.264.08

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado:., **DISEÑO DE UN HORNO SECADOR DE MADERA**, presentado por el estudiante universitario **David Estuardo Gómez Quemé**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, agosto de 2008



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII

1. HORNOS SECADORES DE MADERA:

1.1 Definición de hornos de madera.	1
1.2 Necesidad de los hornos de madera.	1
1.3 Tipos de hornos secadores de madera.	5
1.3.1 Secado al aire.	5
1.3.2 Secado de cobertizo.	5
1.3.3 Secado en horno por aire forzado.	6
1.3.4 Método de pre-secado.	6
1.3.5 Secado en horno.	7
1.3.6 Secado en horno solar.	7
1.3.7 Secado en un horno convencional.	8
1.3.8 Secado en horno de vacío.	8
1.4 Tipos de aislantes térmicos usados en la máquina.	10
1.4.1 Teoría general del fenómeno del cambio de calor	10
1.4.2 Materiales aislantes.	13
1.4.3 Clasificación de los aislantes.	14
1.4.4 Clasificación de los revestimientos térmicos.	15

1.4.4.1	Según la temperatura de operación.	15
1.4.4.1.1	Temperaturas bajas.	15
1.4.4.1.2	Temperaturas intermedias.	15
1.4.4.1.3	Temperaturas altas.	16
1.4.4.2	Según su composición y estructura interna	16
1.4.4.2.1	Revestimiento fibroso.	16
1.4.4.2.2	Revestimiento celular.	16
1.4.4.2.3	Revestimiento granular.	16

2. TIPOS DE MADERAS Y SUS REQUERIMIENTOS:

2. 1	Definición de los tres tipos de madera a trabajar	21
2.1.1	Danto	21
2.1.1.1	Especificaciones generales danto.	21
2.1.1.2	Características de campo.	21
2.1.1.3	Descripción botánica.	22
2.1.1.4	Ecología.	23
2.1.1.5	Características generales.	23
2.1.1.6	Propiedades físicas.	24
2.1.1.7	Propiedades mecánicas.	24
2.1.1.8	Características anatómicas.	24
2.1.1.9	Durabilidad natural.	25
2.1.1.10	Preservado.	26
2.1.1.11	Secado.	26
2.1.1.12	Trabajabilidad.	26
2.1.1.13	Usos de la madera.	26
2.1.2	Caoba	27
2.1.2.1	Especificaciones generales caoba de Petén	27
2.1.2.2	Características de campo.	29

2.1.2.3	Descripción botánica.	29
2.1.2.4	Ecología.	31
2.1.2.5	Características generales de la caoba.	35
2.1.2.6	Propiedades físicas.	36
2.1.2.7	Propiedades mecánicas.	37
2.1.2.8	Características anatómicas.	38
2.1.2.9	Durabilidad natural.	39
2.1.2.10	Preservación.	39
2.1.2.11	Secado.	39
2.1.2.12	Trabajabilidad.	40
2.1.3	Cedro	
2.1.3.1	Especificaciones generales cedro.	40
2.1.3.2	Características de campo.	41
2.1.3.3	Descripción botánica.	42
2.1.3.4	Ecología.	44
2.1.3.5	Características generales del cedro.	48
2.1.3.6	Características físico mecánicas.	49
2.1.3.7	Propiedades mecánicas.	49
2.1.3.8	Características anatómicas y microscópicas.	51
2.1.3.9	Durabilidad natural.	52
2.1.3.10	Preservación.	52
2.1.3.11	Secado.	52
2.1.3.12	Trabajabilidad.	53
2.1.3.13	Usos de la madera.	53
2.2	Requerimientos de humedad	54

3 DISEÑO DEL HORNO:

3.1	Definición de la forma en que se proporcionará calor al horno.	63
3.2	Definición de la forma del horno.	67
3.2.1	Dibujo con medidas del horno.	67
3.2.2	Análisis estructural del horno.	69
3.2.3	Determinar partes críticas del horno.	70
3.2.4	Descripción de elementos utilizados.	71
3.3	Definición de las medidas de la madera que se introducirá al horno.	74
3.4	Etiquetar piezas del horno.	76
3.4.1	Clasificar repuestos.	77

4 INSTALACIÓN DE LA MÁQUINA:

4.1	Forma de instalación	79
4.2	Cálculo de la cimentación de la máquina	79
4.3	Recomendaciones de instalación	80
4.4	Posición del material aislante	81
4.5	Recomendaciones del panel central de control.	82
4.6	Medidas de seguridad en el horno.	83

5 PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA:

5.1	Definición de los diferentes planes de mantenimiento.	87
5.2	Definir las rutinas de mantenimiento preventivo.	91
5.3	Recomendaciones y rutinas de mantenimiento predictivo.	92
5.3.1	Recomendaciones de cambio de piezas importantes y su periodicidad	93

CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Partes del tronco.	55
2.	Cortes de la madera.	57
3.	Tejidos principales de la madera.	59
4.	El agua en la madera.	61
5.	Secado de madera.	66
6.	Dibujo con medidas del horno.	67
7.	Disposición de los ventiladores en el interior del horno.	68
8.	Disposición de las resistencias en las paredes del horno.	68

TABLAS

I.	Propiedades físicas danto.	24
II.	Propiedades físicas caoba.	36
III.	Propiedades mecánicas caoba.	37
IV.	Propiedades físicas cedro.	49
V.	Propiedades mecánicas cedro.	50
VI.	Fatigas admisibles para el cálculo de esfuerzos en elementos estructurales cedro.	51
VII.	Clasificación de la madera en base a su contenido de humedad.	61
VIII.	Porcentaje de humedad de acuerdo a su aplicación.	62
IX.	Propiedades del material aislante usado en la puerta.	70
X.	Calor disipado por motores eléctricos y su respectivo ventilador en espacios acondicionados.	72
XI.	Datos técnicos de las resistencias níquel fibra.	73

GLOSARIO

ACUMINADO	Es un adjetivo proveniente del latín, <i>acumen</i> que significa punta, por ejemplo, las hojas del pino son acuminadas
ALBURA	Blancura perfecta. Madera tierna y blanquecina, entre la corteza y el corazón de un árbol, que forma cada año un círculo nuevo alrededor de dicho corazón.
DURAMEN	Parte más seca y dura del tronco de un árbol.
ESTIPITADA	Proveniente de la palabra estípite, que significa tallo largo y no ramificado de las plantas arbóreas, como el de las palmeras
FENDAS	Las fendas representan rupturas de la madera a lo largo de las fibras.
FUSTE	Parte sólida de los árboles cubierta por la corteza. También suele ser una pieza de madera labrada que sirve para cualquier obra de carpintería.
GLABROS	Lampiño.

HIGROSCÓPICO Propiedad de algunos cuerpos inorgánicos, y de todos los orgánicos, de absorber, exhalar y conservar la humedad. Que es la cantidad de vapor de agua en suspensión en el aire.

IMPARIPINNADA En botánica se utiliza esta palabra para nombrar en las hojas compuestas a los folíolos que se van colocando de una manera generalmente opuesta o alterna en el raquis y con un último foliolo al final del mismo, por lo que su número será impar. Cuando los folíolos son pares se llaman paripinnadas.

LED Acrónimo del inglés Light-Emitting Diode, que no es más que un dispositivo semiconductor, por lo regular diodo, que enciende una luz cuando es polarizado de forma directa.

PARENQUIMA Se denomina parénquima al tejido vegetal constituido por células de forma aproximadamente esférica o cúbica y con espacio de separación. Están poco especializadas. Constituyen el tejido fundamental de la planta. Se localizan en todos los órganos vegetales, llenan espacios libres que dejan otros órganos y tejidos. Sus células son poligonales y las paredes celulares son flexibles y delgadas de celulosa.

PECIOLADO Que tiene rabillo de la hoja.

RACEMIFORME Que tiene forma de racimo.

- SAMAROIDE** Semejante a una sámara, que es aquenio provisto de una proyección membranosa en forma de ala para facilitar su dispersión.
- SEPTOS** Es un tabique que divide de un modo completo o incompleto una cavidad o partes del cuerpo en un animal: por ejemplo, septo de la nariz.
- SERICEOS** Dicho de un órgano, cubierto de pelos finos y cortos que le dan un aspecto y brillo como de seda.

RESUMEN

El secado de madera es un proceso muy necesario para la trabajabilidad de la madera, ya que si en ella hay presencia de humedad las dimensiones tienden a cambiar y con esto la precisión de las piezas también.

Existen diferentes métodos para secar madera, en este texto se define algunos que son de mayor importancia, podemos mencionar el secado al aire que es el más caro que podemos encontrar si tomamos en cuenta que es capital que se expone a degradación por el tiempo que esta al ambiente, además de el gasto de la tierra que ocupa; el secado de cobertizo que es similar al secado al aire, con la diferencia que se agrega un techo para disminuir los desgastes por factores climáticos directos; se mencionan otras técnicas para el secado. La técnica que es usada en este trabajo es la del secado en horno deshumidificador, que controla la temperatura por medio de sensores que encienden o apagan las resistencias para que proporcionen calor al horno, se ayuda de ventiladores para que hagan circular el aire en la pila de madera.

El horno está diseñado para trabajar con tres tipos de maderas que son el danto, el cedro y la caoba, se describen las propiedades que tienen, tanto físicas y mecánicas. Los nombres que estas tienen son nombres arbitrarios que les han dado en el departamento del Petén en este trabajo se dan a conocer los nombres científicos.

Parte de la labor del ingeniero mecánico es mantener las máquinas en correcto funcionamiento, tomando en cuenta esta función se hace un plan de mantenimiento para el horno, de tal forma que también funciona como manual para el usuario o para la empresa que lo adquiera.

OBJETIVOS

- GENERAL:

Diseñar un horno de secado de madera, que funcione de acuerdo a los requerimientos de los diferentes tipos de madera.

- ESPECÍFICOS:

1. Implementar un plan de mantenimiento para conservar mejor el equipo.
2. Con base en las mediciones realizadas de temperatura dentro del horno, y de humedad en la madera como en el horno; determinar si la madera está ya en su óptimo secado.
3. Definir el mejor y más económico método, para proporcionar el calor a la madera dentro del horno.
4. Conocer de manera más concreta los tres tipos de madera que se usarán como modelo para el horno, ya que son riquezas ambientales en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el rol más importante del ingeniero mecánico es sin duda el de diseñar, crear e innovar, y es por esa razón que el siguiente trabajo de graduación trata sobre el diseño de un horno secador de madera, se entiende por el proceso de secado de madera, que eliminaremos la humedad contenida en las fibras de la madera.

Se presentan diferentes métodos de secado, el método o la técnica con la que se desarrolla el presente trabajo es el de un horno de secado deshumidificador.

Para una mejor comprensión del proceso de secado, el trabajo de graduación proporciona un resumen general de la estructura básica de la madera, los tipos de cortes y de la asociación agua-madera; luego, se citan los pasos que se siguen para el secado de una carga de madera en el horno.

Como una guía o manual de usuario se menciona la forma de la instalación, la forma en que se debe colocar el material aislante, y en donde. Es muy importante tener en cuenta que siendo un proceso donde se involucra personal humano, hay que tomar las medidas de seguridad necesarias, por lo que se mencionarán en este mismo capítulo.

Finalmente se dan unas recomendaciones para el cuidado del horno, se definen las clases de mantenimientos que hay y se sugieren algunas para el horno.

1. HORNOS SECADORES DE MADERA

1.1 Definición de hornos secadores de madera

Se entiende por hornos a cualquier máquina utilizada para calentar o someter un producto a la acción del fuego (también se utiliza el concepto de energía térmica), existen hornos industriales, los cuales tienen varias aplicaciones tal es el caso en la metalurgia, que se utilizan los altos hornos para fundir el mineral de hierro y con esto obtener metal puro, existen otros ejemplos de hornos pero no es de tratar en este trabajo de graduación.

En este caso, se utiliza la definición de hornos para el secado de madera, uno de los procesos más requeridos en la industria de las maderas, no solo por la calidad del secado si no que también por el tiempo en el que se va a secar la madera, en la producción es muy importante debido a que reduce los tiempos muertos por falta de material a trabajar, estas dos razones son las de más peso en el trabajo que a continuación se presenta.

Como se mencionará más adelante trataremos con el estudio de algunas fuentes de energía, y se desarrollara la que más acertada esté con el propósito de este documento. Dada esta breve información, partiremos hacia el desarrollo del trabajo de graduación.

1.2 Necesidad de los hornos de madera

Los organismos vivos están formados mayoritariamente por AGUA, ya que esta tiene unas propiedades químicas y físicas únicas que la hacen insustituible.

Es la base de la vida, y esta es la principal razón por la que se debe eliminar de muchos productos.

¿Por qué se seca la madera, los alimentos, etc.? Porque una vez seco no se pudren. No pueden ser atacados por microorganismos porque éstos precisan agua para su desarrollo.

Además, el agua no siempre se encuentra en la misma concentración en unas zonas que en otras, lo que puede provocar deformaciones, tensiones e irregularidades.

Otro problema del agua es que es muy pesada (un m³ de agua pesa una tonelada), por lo que un producto seco es mucho más fácil (y barato) de transportar y manipular que uno húmedo.

El secado de la madera es un problema que existe desde que el ser humano comenzó a utilizarla para fabricar útiles, construir objetos o refugios, etc. Es necesario para detener el proceso natural de putrefacción, así como para eliminar la inestabilidad producida por la irregular distribución del agua en la madera. Durante siglos, la única forma de secarla fue apilándola en "castillos" de modo que el aire la secase naturalmente, lo que implicaba un proceso largo (de meses e incluso años), e inseguro, por el riesgo que implicaba tener la madera tanto tiempo a la intemperie.

Con el secado de madera en cámaras especiales se consigue, con la tecnología actual, un secado rápido, uniforme y de calidad. Además este tipo de secado será obligatorio en corto plazo en multitud de países, debido a que permite la eliminación de parásitos de la madera.

Las principales ventajas son:

- Se reduce la merma natural y el doblado de la madera, para que conserve la forma dada una vez trabajada.
- Se ahorra los costes de un largo tiempo de secado al aire libre.
- Se reduce el porcentaje de humedad a un punto al que resulta generalmente imposible llegar con el secado al aire libre.
- Se eliminan defectos tales como fendas, doblamiento y manchado.
- Se evita el ataque de hongos e insectos.
- Se consigue un posterior encolado y acabado satisfactorios.
- Se eliminan los parásitos que pueda haber en la madera, evitando su propagación. Por ello, el sometimiento de la madera a temperaturas elevadas (>56 ° C) comienza a ser obligatorio en el comercio internacional, especialmente para la madera destinada a embalajes.

La madera como material higroscópico se equilibra en humedad con el medio en el cual se encuentra. La diferencia entre humedad de equilibrio es importante, ya que se la expone a riesgos de contracciones y deformaciones que pueden ir en contra de la funcionalidad del producto elaborado. Es imprescindible llevar la madera a los contenidos de humedad adecuados antes de su puesta en obra.

Tres son las cuestiones principales a analizar al momento de tomar decisiones del proceso a utilizar: **calidad requerida, costos de los procesos y precio del producto final.**

Se trata por lo tanto de un equilibrio entre factores técnicos y económicos.

Los valores de humedad final a los que se puede llegar con el secado artificial, de ninguna manera pueden lograrse con secado a la intemperie.

A modo de ejemplo digamos que la industria del mueble, tableros o vigas multilaminadas requieren de valores de humedad final de la materia prima cercano al 8% un proceso de secado a la intemperie de una duración de seis a veinticuatro meses, permite llegar a valores cercanos al 14%.

La probabilidad de defectos en la materia prima es directamente proporcional al tiempo que transcurre entre el corte del rollizo y la madera seca en condiciones de uso, torceduras, abarquillado, combado, revirado, colapso, mancha azul, ataque de insectos, etc. son solo algunos de estos defectos. Existe bibliografía que estima el porcentaje de defectos como consecuencia del secado a la intemperie en un 12 al 15%, este porcentaje se reduce del 4 al 7% en el proceso de secado técnico.

El costo de inmovilización de la madera para su secado a la intemperie, varía de acuerdo al valor de la materia prima, el tiempo requerido y el costo financiero o de oportunidad del dinero invertido. Con variaciones de acuerdo al tipo de madera, es posible estimar el costo promedio del secado técnico es entre un 20 al 25% del costo de la materia prima. De esta manera se obtiene un producto en condiciones de uso en un plazo que oscila entre 5 y 35 días. Los procesos de secado en planta de estacionamiento, requieren plazos que van desde los 6 a 24 meses. Teniendo en cuenta la tasa de interés que deben afrontar las pequeñas y medianas empresas, el costo de inmovilización del capital invertido es muy alto. Sucede, además, que ese capital pudo haber sido rotado (para el caso en que exista demanda) más de veinte veces en el tiempo considerado, con lo que la rentabilidad del negocio crece proporcionalmente.

El costo de oportunidad del material en la playa de estacionamiento, los riesgos de manipuleo, los reclamos por defectos, la posibilidad de vender justo a tiempo, la homogeneidad del producto, etc. son algunos de los costos

adicionales que debieran ser tenidos en cuenta al momento de comparar concienzudamente ambos procesos.

1.3 Tipos de hornos secadores de madera

1.3.1 Secado al aire:

Secado al aire, es el secado que se efectúa usando el viento natural y el sol, básicamente.

La madera es apilada de manera que permita a los vientos predominantes soplar por la pila y secarla. Este método es estrictamente dependiente del clima, que puede secar demasiado rápido y causar daños, o secarlo demasiado despacio, que es caro. Para una madera que debe ser usada en muebles o algún otro producto que requiere un contenido de humedad del 6 a 8 %, el aire por sí mismo no puede hacer el trabajo completo. A menudo es usado como un primer paso, colocando la madera en un horno para finalizar el secado. El secado al aire produce verdaderos problemas siendo a menudo el modo más caro de secar, una vez que se considera el capital expuesto, el trabajo, el gasto de tierra, y sobre todo las pérdidas por degradación.

1.3.2 Secado de cobertizo:

La lluvia y el sol directo pueden dañar severamente la madera mientras se seca al aire. En lugar de secar al aire, muchas veces se opta por depositar la madera bajo techo para evitar los factores climáticos directos. Esto mejora la calidad del secado pero amplía el tiempo del proceso. Esto también requiere

una inversión en cobertizos y todavía no permite controlar factores como la humedad, el flujo de aire y las temperaturas.

1.3.3 Secado en horno por aire forzado:

Tal como el cobertizo descrito antes, excepto que se utilizan ventiladores para forzar el aire por entre la pila de madera, sin depender del viento natural. Esto es más rápido que el secado natural al aire libre o bajo cobertizo, pero el costo de mantener funcionando los ventiladores es bastante alto. También, la inversión de capital es bastante alta en proporción a la suma de secado que puede ser lograda.

1.3.4 Método de pre-secado:

Es usado para quitar la mayor parte del agua libre de la madera antes de que sea colocada en un horno para el secado final. En un pre-secador, la madera es apilada en un edificio donde el calor y la humedad son controlados. La temperatura por lo general es mantenida alrededor de 35 ° C. La madera se seca al contenido de humedad del 20 a 30 % y luego colocada en un horno para la sequedad final.

Aunque el costo de un pre secador es aproximadamente el mismo que construir un horno cuando se comparan gastos sobre la base de su producción anual, ellos requieren un manejo extra de la madera, y en realidad tienen un costo operacional mayor que los hornos de secado. Ellos por lo general sólo son usados en combinación con hornos viejos o ineficaces que no pueden ser usados para secar madera verde.

1.3.5 Secado en horno:

En un horno secador, la madera es instalada en una cámara donde el flujo de aire, la temperatura y la humedad son controladas para proveer un rápido secado, hasta donde pueda ser tolerado por la madera sin producirse defectos. Hay varios tipos de hornos, definidos por el modo en que la temperatura y la humedad son controladas. Los tres tipos más comunes son los convencionales, los deshumidificadores y los solares. El secado en una cámara cerrada permite un control preciso sobre las variables críticas (flujo de aire, temperatura y humedad).

1.3.6 Secado en horno solar:

Hay varios tipos de hornos solares, pero todos generalmente se basan en algún tipo de colector solar para proporcionar la energía que evapora el agua de la madera. A diferencia de la calefacción solar para una oficina o casa, en su aplicación al secado de madera no es posible reducir los requerimientos de calor al punto donde la calefacción solar puede ser competitiva.

Cuando se ha conseguido remover una cierta cantidad de agua desde una determinada cantidad de madera, se requiere una cierta cantidad de calor que no puede ser alterada, cosa difícil de conseguir en tanto el calor en un horno solar ello depende del clima de día y de noche y es por tanto impredecible.

En este tipo de hornos es imprescindible el uso de los ventiladores alimentados por medio de la red de energía eléctrica, que representan un alto costo.

1.3.7 Secado en un horno convencional:

Un horno convencional usa el calor proporcionado por un quemador o una caldera y un intercambiador de vapor o agua caliente, para calentar la cámara del horno y quitar el agua de la madera, la que es convertida en vapor y extraída del horno con el aire caliente. De acuerdo a dicho concepto, este proceso requiere de una gran pérdida de calor para secar, pues tanto el vapor como el aire caliente contienen energía transferida que se lanzan al ambiente exterior del horno. Así, estos sistemas si bien son más eficientes que los sistemas de secado natural o solar, lo son muy poco respecto del secado por deshumidificación. Para quitar un litro de agua desde la madera, un horno convencional requiere calentar un volumen de 25 m³ de aire para transferir esa energía a la madera para evaporar el agua libre y confinada. A medida que se transforma la energía (calor) en vapor y aire caliente, estos se evacúan a la atmósfera para ir secando. Entre la calefacción de esas grandes cantidades de aire para evaporar el agua, los hornos convencionales tienen un muy alto consumo de energía. Pueden proveer una muy buena calidad de madera seca si se utiliza una buena curva o programa de secado. Sin embargo, a igualdad de calidad de madera, el consumo energético es más alto que en un horno deshumidificador.

1.3.8 Secado en horno de vacío:

Cuando se pone madera en un horno de vacío, el agua se vaporiza y escapa rápidamente fuera de la madera. Los hornos de vacío se aprovechan de este hecho para lograr tiempos de secado que son normalmente sólo una fracción del tiempo requerido por los hornos convencionales y los hornos deshumidificadores. Un gran inconveniente es, sin embargo, que las cámaras son pequeñas, así que los hornos no pueden secar cantidades grandes en

cualquier momento. Es necesario proporcionar calor continuamente a la madera en un horno de vacío. Para hacer esto, algunos sistemas usan las mantas eléctricas en contacto con cada pedazo de madera, mientras algunos usan bobinas de calefacción o microondas. Todos estos sistemas son sumamente caros de ejecutar cuando se comparan con el de des-humidificación o los hornos convencionales. Los costos operativos normalmente son superiores tres a cuatro veces que los costos para los hornos de des-humidificación. Los costos de manejo son muy altos también debido a las cargas más pequeñas. El secado desigual es otro problema. El secado por vacío puede justificarse a menudo al secar las maderas más duras y más gruesas.

Consideraciones importantes para el uso de ventiladores

¿Cuán importante es el flujo de aire?

El flujo de aire en la cámara de horno es muy importante. La velocidad del aire a través de la madera afecta al tiempo y la calidad del secado.

Se debe estar seguro que la velocidad del aire en el horno, será la adecuada para las especies y el grosor de la madera que se usa, así como las características del horno. Generalmente, la madera más húmeda requiere mayor velocidad de aire a través de la pila.

¿Se deberían invertir los ventiladores?

Los ventiladores por lo general invierten el sentido de giro del motor, invirtiendo el sentido de circulación del aire por la madera., en hornos más grandes. Esto

previene un secado disparejo, forzando el aire a entrar en la pila primero desde un lado y luego desde el opuesto. Esto también corrige la existencia de zonas muertas, sin aire, en la (s) pila (s) como resultado del modo el que se cargue la madera. Generalmente, si la madera es apilada a más de 3,5 metros (12 pies) en el sentido del flujo de aire debería tener inversión de ventiladores. Si la pila de madera es menos que 12 pies, el cambio de dirección del flujo de aire no tendrá ningún efecto significativo en el secado.

1.4 Tipos de aislantes térmicos usados en la máquina

1.4.1 Teoría general del fenómeno del cambio de calor

Entre dos cuerpos con temperatura diferentes, inevitablemente se produce un flujo calorífico, el calor se desplaza del cuerpo caliente al cuerpo frío hasta que se produce el equilibrio de temperatura.

Ningún medio permite impedir el cambio de calor. Sólo puede modificarse su intensidad.

El cambio de calor se produce de tres formas diferentes:

- **Por conducción:**

El calor se propaga a través de todos los cuerpos sólidos o líquidos de molécula a molécula, suponiendo que estas últimas están inmóviles. En los gases (Teoría Cinética), los cambios de energía se producen por los choques entre las moléculas animadas por velocidades diferentes. ¹

¹ Grimaldi-Simonds. La Seguridad Industrial Su Administración. Alfaomoga México 1985.

Ej.: Si se coloca el extremo de una barra de hierro en un fuego, al cabo de unos instantes se calienta el otro extremo, obligándonos a quitar las manos.

- **Por convección**

Estas formas de propagación es propia de los fluidos (gases o líquidos), las moléculas que están directamente en contacto con un cuerpo de temperatura más alta "A" se calientan y tienden a desplazarse por gravedad.

La restitución de las calorías absorbidas al ponerse en contacto con cuerpos de temperatura inferior "B", origina la creación de un ciclo de convección que acelera los cambios térmicos entre A y B.

Ej.: El radiador de calefacción central eleva la temperatura de las moléculas de aire que se vuelven más ligeras y suben hacia el techo, siendo inmediatamente reemplazadas por otras que se han enfriado al contacto con las paredes u objetos que han encontrados en su recorrido.

- **Por radiación**

La transmisión de calor por radiación se produce a un para las bajas temperaturas siempre que dos cuerpos de temperatura diferente estén en presencia del otro, estando separado por un medio permeable a la radiación. El calor se transforma en energía radiante, atraviesa el medio permeable y alcanza al otro cuerpo.

Una parte de la energía se transforma en calor y es absorbida por este segundo cuerpo. El resto de la energía se refleja bajo la forma de calor radiante.

El transporte de calor por radiación no necesita soporte material alguno: se produce, igualmente, en el vacío. Ej.: La tierra es calentada por el sol por radiación.

Generalmente, estos tres casos posibles se producen simultáneamente. La conducción pura tiene lugar únicamente en los cuerpos sólidos, y no siempre es cierto que sea sólo conducción. Así se asimilan los cambios de calor en los materiales de construcción la conducción pura.

Desde siempre, el hombre a tenido constancia de los efectos del calor: dilatación, fusión, ebullición, y también las acciones inversas del frío: retracción, solidificación, licuefacción, no habiendo conocido las leyes hasta una época reciente. Desde entonces, también a tratado de aprovechar en un máximo, ya sea el calor o el frío dependiendo de su conveniencia. Entonces ha ideado diferentes técnicas para el aislamiento de éstos, que no permiten en un gran porcentaje el intercambio de temperatura entre dos ambientes.

El objetivo de un aislamiento térmico es impedir en alguna medida la transferencia de calor desde o hacia el cuerpo aislado.

Los materiales de aislamiento térmico aprovechan en general el hecho de que el aire es un excelente aislante. Por esta razón, la gran mayoría de los materiales usados como aislantes son porosos, manteniendo el aire atrapado en su interior.

El aire encerrado en los poros queda casi quieto en los materiales con poros cerrados (como Poliuretano y poliestireno expandido) o con muy poca movilidad en aislantes con poros abiertos (por ej.: Lana Mineral y Lana de vidrio). Por esta razón el coeficiente de conductividad térmica será en general, tanto más pequeño como sea su masa por unidad de volumen (Densidad).

Sin embargo, existe una masa por unidad de volumen determinada para cada material de aislamiento térmico poroso, que por debajo de ella aumentará nuevamente la conductividad térmica.

Esto se debe a que los poros son lo suficientemente grandes para permitir en su interior, una transferencia de calor por convección natural.

1.4.2 Materiales aislantes

Bajo el nombre de materiales aislantes se agrupan productos que cumplen muchas funciones. Están caracterizados por un coeficiente de conductividad (λ) lo más bajo posible.

Características generales

El papel esencial de un material aislante, evidentemente, es cumplir su función. Un aislante térmico deberá ofrecer una buena resistencia a la transmisión del calor. Independientemente de sus propiedades específicas, a los aislantes se le pide cualidades complementarias.

Las principales de estas cualidades son:

- Precio en relación con el servicio que presta.

- Flexibilidad o rigidez según la estructura portante.
- Ausencia de propiedades corrosivas para los materiales con los que el aislante está en contacto.
- Estabilidad física y química: ausencia de dilatación excesiva al calor, resistencia a diversos agentes de destrucción: humedad u oxidación.
- Buena resistencia mecánica.
- Estética si el producto queda visto.
- Incombustibilidad o por lo menos ausencia de inflamabilidad.

Cada clase de aislante, a menudo, se presta con un gran número de variedades o también de masas específicas. Con frecuencia, resulta difícil la elección entre los diferentes aislantes.

1.4.3 Clasificación de los aislantes

Los aislantes pueden clasificarse de muchas formas:

- Según su estructura: granular, fibrosa, alveolar, etc.
- Según su origen: vegetal, mineral, etc.
- Según su resistencia en las diferentes zonas de temperatura.

Bueno, acá se adoptara una clasificación arbitraria como las anteriores:

Según:

1. Materiales fibrosos.
2. Aislantes con estructura celular.

1.4.4 Clasificación de los revestimientos térmicos

1.4.4.1 Según la temperatura de operación

1.4.4.1.1 Temperaturas bajas:

El rango de temperatura es de -100 °F (- 38 °C) a 60 °F (15.6 °C). El mayor problema en instalaciones de este tipo es la penetración de humedad en el revestimiento térmico permitiendo la formación de hielo en la superficie del equipo y destruyendo el revestimiento con el tiempo.

Los revestimientos que generalmente se usan para este rango de temperatura son: Polietileno, poliuretano, fibra mineral, poliestireno, fibra de vidrio.

1.4.4.1.2 Temperatura intermedias:

El rango de temperatura de aplicación es de 61 °F (16.1 °C) a 600 °F (316 °C). La mayor parte de los procesos en una planta de gas se encuentran en este rango de temperatura. La selección del material a utilizar esta basada más en sus propiedades térmicas que en otras propiedades tales como propiedades mecánicas y químicas. Los materiales usualmente utilizados en estos rangos de temperatura son: Silicato de calcio, perlita expandida, fibra de vidrio, espuma plástica elastomérica, poliestireno.

1.4.4.1.3 Temperaturas altas:

El rango de temperatura de trabajo es de 601 ° F (316 ° C) a 1500 ° F (815 ° C). Cuando nos acercamos a rango de temperaturas refractarias, pocos materiales y métodos de aplicación disponibles. Los materiales para altas temperaturas son a menudo una combinación de otros materiales especiales de manera que puedan resistir estas temperaturas.

Los materiales normalmente usados para estas temperaturas son: Silicato de calcio, cemento, perlita expandida, fibras de cerámica, fibra de vidrio, tierra diatomea

1.4.4.2 Según su composición y estructura interna

1.4.4.2.1 Revestimiento fibroso:

Este tipo de revestimiento está compuesto por fibras de diámetros pequeños finamente divididos. Estas fibras pueden ser colocadas horizontales o perpendiculares a la superficie a ser aislada. El revestimiento más conocido de este tipo es la fibra de vidrio y mineral.

1.4.4.2.2 Revestimiento celular:

Compuesta de celdas individuales pequeñas separadas entre ellas. El material celular puede ser de vidrio o espuma tal como el poliestireno (Celdas cerradas), poliuretano, etc.

1.4.4.2.3 Revestimiento granular:

Compuesto de pequeños nódulos que contienen espacios huecos. Este no es considerado un verdadero material celular puesto que el gas puede ser

transferido a través de dichos espacios. Revestimiento de este tipo son el silicato de calcio, perlita, celulosa, tierra diatomea y poliestireno expandido.

Propiedades del revestimiento:

Los factores a evaluarse para una buena selección del material son los siguientes:

Propiedades térmicas: Son las primeras a considerar para la elección de revestimiento térmico.

Rango de temperatura de aplicación: Máxima y mínima temperatura para la cual el revestimiento retiene todas sus propiedades térmicas.

Conductancia térmica: La velocidad del flujo de calor para el espesor actual del material.

Conductividad térmica: La velocidad de flujo de calor basado en una pulgada de espesor.

Emisividad: Significativa cuando la temperatura de la superficie del revestimiento debe ser utilizada para la condensación de la humedad y protección personal.

Resistencia térmica: Resistencia total del sistema al flujo de calor.

Conductancia térmica: La conductancia total al flujo de calor de un sistema.

Propiedades mecánicas y químicas del revestimiento

Alcalinidad o acidez (PH): Importante cuando se tiene presente una atmósfera corrosiva.

Apariencia: Es importante en áreas expuestas.

Capilaridad: Debe considerarse cuando el material este en contacto con líquidos.

Reacción química: Del material con químicos volátiles del área, produciendo calor con un alto potencial de fuego. La resistencia a la corrosión también debe ser considerada.

Resistencia química: En importante en lugares donde existen sales en el medio que lo rodea.

Coefficiente de expansión y contracción: Es un parámetro a usar en el diseño y en la expansión / contracción de las juntas y/o el uso de múltiples capas de aislamiento.

Resistencia a la compresión: Esta característica es importante cuando el revestimiento deberá soportar cargas o abuso mecánico.

Densidad: La densidad del material afecta otras propiedades tales como las propiedades térmicas.

Estabilidad: Es importante cuando el material es expuesto a abusos mecánicos como torsión o vibración cuando la cañería se dilata.

Retardamiento a la combustión: La resistencia al fuego es una propiedad importante del revestimiento.

Resistencia a los rayos ultravioleta: Importante cuando el material se va a utilizar al medio ambiente.

Resistencia al crecimiento de bacterias: Es importante que el revestimiento sea resistente a la formación de bacterias.

Coefficiente de absorción de sonido: Considerado cuando se requiere la atenuación del sonido.

Toxicidad: Es considerado de mayor importancia cuando se trabaja en plantas de procesamiento de alimentos.

2. TIPOS DE MADERAS Y SUS REQUERIMIENTOS

2.1 Definición de los tres tipos de maderas a trabajar

2.1.1 Danto

2.1.1.1 Especificaciones generales danto:

Sinónimos: Tingo, Palo negro, Palo obero, Palo de zope, Frijolillo, Medallo (Guatemala); Amargoso Cucaracho (Honduras); Amargo, Cocobolo de San Carlos, Mora (Costa Rica).

Nombre científico: *Vatairea lundellii* (Standley) Killip.

Sinónimo: Tipuana lundellii Standley.

2.1.1.2 Características de campo:

Suele ser notable por el color oscuro de la corteza, por sus contrafuertes en la base del fuste que están bien desarrollados y hacen un contraste con el tronco que es recto y esbelto, sus foliolos, especialmente los más recientes, son aserrados y el fruto que es una legumbre samaroide está sostenida por el lado de la semilla, la corteza cuando se corta tiene olor a perejil en flor, es de color oscuro con manchas blancas.

2.1.1.3 Descripción botánica:

Árbol: de tamaño mediano a corpulento, de 30 a 40 metros de altura y un metro de diámetro a la altura del pecho.

Fuste: con frecuencia con contrafuertes en la base que alcanzan hasta dos metros de altura.

Corteza: es suave de color oscuro con partes claras, la corteza en su interior es de color amarillo rosado con un aspecto de ser granulado.

Hojas: compuesta imparipinada, alternas, 11 a 21 foliolos alternos o subalternos peciolados, elípticos a oblongo-elípticos de 2.5 a 13cm de largo por 1.5 a 5cm de ancho, algunos agudos o acuminados, margen entero hasta aserrado, redondeados a obtusos en la base, gruesos, verdes y glabros en el haz, levemente pálidos en el envés, al principio seríceos hasta glabros.

Flores: colocadas sobre panículas grandes un poco abiertas, con muchas flores, las ramillas de color café pubescente, flores fragantes, pedicelos delgados, cáliz turbinado 6mm de largo café zaceo-seríceo, limbo expandido, pétalos de color blanco teñido con un color morado pálido, 1.5cm de largo.

Fruto: una legumbre samaroide, cortamente estipitada con el cáliz persistente, 10-13cm de largo.

Semilla: en la parte gruesa de 1-2.5cm de ancho, el ala mide 2.5 a 3cm de ancho un poco gruesa, glabra y sostenida por el lado de la semilla cuya superficie es muy reticulada.

2.1.1.4 Ecología:

Es una especie emergente de los estratos superiores.

Zona de vida: Crece en las zonas de vida del Bosque húmedo y muy húmedo subtropical, de las tierras del litoral Atlántico.

Altitud: De 0 a 600m SNM.

Suelos: Se localiza en suelos anegados o bajos y también en suelos bien drenados.

2.1.1.5 Características generales:

Color: Duramen de color café amarillento, albura color café claro.

Textura: mediana a gruesa.

Grano: estrechamente entrelazado en bandas de ancho variable.

Patrón: de vetado en figura distintiva en corte tangencial a causa de bandas parabólicas.

Lustre: de regular a elevado.

Sabor: muy amargo y persistente.

2.1.1.6 Propiedades físicas:

Madera de pesada a muy pesada, densidad específica 0.62 gr. / cm.³, 0.55 gr. /cm.³ a 0.58 gr. /cm.³

Tabla 1. Propiedades físicas danto

Propiedades Físicas	Valor	Clasificación
Peso específico verde (gr. /cm.3)	1.2	
Peso específico seco al aire (gr. /cm.3)		
Peso específico anhidro (gr. /cm.3)		
Peso específico básico (gr. / cm.3)	0.64	
Contracción volumétrica total (%)	13.10	Muy alta
Contracción tangencial total (%)	8.10	Muy alta
Contracción radial total (%)	4.60	Alta
Relación: Contracción tangencial total	1.76	Alta
Contracción radial total		

Fuente: ESNACIFOR, 1988.

2.1.1.7. Propiedades mecánicas:

Dureza lateral alta, modulo de elasticidad alto.

2.1.1.8 Características anatómicas:

Poros: fácilmente visibles, solitarios en su mayoría y en múltiples radiales de 2 a 6 poros; además escasos racemiformes en número de 4 a 8 poros, son escasos y distribuidos de manera difusa en hileras oblicuas separadas, con

cambios de dirección a manera de zigzag. Se localizan algunos poros muy pequeños al final de los anillos; el tamaño de los mismos disminuye en el duramen.

Parénquima paratraqueal vasicéntrico, aliforme y aliforme confluyente; también se observa parénquima apotraqueal difuso en agregados.

Radios predominantemente multiseriados, muy pocos uniseriados y algunos fusionados longitudinalmente. Los radios son homogéneos y heterogéneos.

Fibras fusiformes, de tamaño mediano y localmente estratificado. Son frecuentes algunas fibras septadas con 1 a 3 septos.

Anillos de crecimiento: Demarcados por parénquima paratraqueal en bandas y aliforme.

Punteaduras: Ínter vasculares simples de opuestas a alternas con abertura incluida, tamaño medianas (7-10u); punteaduras radio vasculares de circulares a oblongas.

Inclusiones inorgánicas y orgánicas: Cristales comunes en el parénquima. Depósitos de gomas en los radios.

2.1.1.9 Durabilidad natural:

El duramen se ha considerado resistente al ataque de insectos y hongos. No es resistente al ataque de taladradores marinos.

2.1.1.10 Preservado:

El duramen es muy difícil de preservar y la albura moderadamente difícil, utilizando sistemas de vacío-presión.

2.1.1.11 Secado:

Es moderadamente difícil de secar al aire. Los defectos son mínimos después del proceso, principalmente rajaduras o pandeo. **En el secado convencional se recomiendan programas moderados con alto vapor de saturación.**

2.1.1.12 Trabajabilidad:

Es moderadamente difícil de trabajar con maquinas para carpintería. Se producen superficies finas. Al trabajar la madera se tiene el inconveniente que el sabor amargo del aserrín afecta a algunos operarios. Es de buena resistencia a la extracción de clavos y tornillos. Aserrado fácil y bueno, cepillado fácil y aceptable, torneado fácil y muy pobre, lijado fácil y aceptable; clavado, atornillado y resistencia al rajado fácil y buena.

2.1.1.13 Usos de la madera:

La madera se utiliza algunas veces para construcción y para elaborar canoas cuando no se encuentra otro material, pisos, mangos para herramientas, implementos agrícolas, estructuras, entarimados, durmientes, postes, pilotes (en ausencia de taladradores), carpintería en general, adoquín, parquet.

Construcción interna y externa, madera estructural para puentes, postes para cercas, estacas, barriles para sólidos.

El principio amargo que tiene la corteza es empleado en la medicina casera.

2.1.2 Caoba (caoba del Petén)

2.1.2.1 Especificaciones generales caoba de Petén:

Sinónimos: Chacalté (Maya) (Guatemala); Caoba de hoja grande, Caoba del Sur, Caoba del Atlántico, Cáguano (América Central, México y Colombia); Mongno, Aguano, Araputanga (Brasil); Mahogany Honduras, Acajou du Honduras (Guadalupe); Oruba (Venezuela); Mara (Bolivia); Mahoni (Surinam).

Nombre científico: *Swietenia macrophylla* King.

Sinónimos: *Swietenia aubrevilliana*, *S. belizensis* Lundell, *S. candollei*, *S. krukoi*, *S. tassmanii*.

Esta especie ha sido explotada intensamente desde tiempos de la colonia, al extremo que el establecimiento de la colonia inglesa en Belice tiene su razón de ser debido a esta especie, de tal manera que fueron los ingleses los que iniciaron su explotación en el norte de Guatemala, por ser una de las industrias más importantes de ese entonces que se ha remontado hasta los tiempos actuales; en el comercio se le conoce como "Honduras" Mahogany: Caoba de Honduras. A los árboles cuya madera permite obtener las más bellas figuras se les ha denominado vulgarmente como "Coralillo".

Presenta madera duradera, fuerte, fácil de trabajar y de una belleza extraordinaria, está entre las maderas más codiciadas del mundo. Por sus características únicas, sigue siendo una de las más comercializadas nacional e internacionalmente. Es una importante fuente de divisas para productores como Bolivia y Brasil y uno de los recursos naturales renovables más importantes de América Latina.

El estado actual de las poblaciones de Caoba es muy variable. Por ejemplo, ha sido casi eliminada de áreas accesibles de Honduras y Nicaragua, pero todavía se encuentra en áreas protegidas de Petén (Guatemala) y Belice. También existen grandes áreas de Caoba en Bolivia y Brasil.

Históricamente, y en gran medida todavía, la caoba ha sido aprovechada mediante el método selectivo, extrayendo los árboles más grandes y rectos. Por ser un pionero longevo, en caobales maduros casi no hay árboles jóvenes. Por lo tanto, la remoción de los árboles grandes se convierte en un sistema no sostenible. La fijación de tamaños mínimos de corte es a veces presentada como manejo sostenible; no obstante, lo único que hace es posponer unos años más la eliminación permanente de la especie del rodal.

La regeneración natural de Caoba, al igual que las otras de su género, depende de la presencia de fuentes de semilla y condiciones aptas para la germinación y desarrollo posterior. Ambas condiciones podrían cumplirse mediante la implementación de un sistema parecido al TSS (Tropical Shelterwood System) utilizado en Trinidad. En este sistema, la regeneración se estimula dejando un dosel abierto de árboles semilleros, para así asegurar la fuente de semilla y a la vez la suficiente luz para permitir el desarrollo posterior de la regeneración. Posteriormente, por el alto valor de su madera, podría justificarse un manejo intensivo; uno de los objetivos es el aumento sensible en el número de árboles

de la especie por hectárea, aunque no hasta tal punto que se den condiciones que provoquen los ataques fuertes de *Hypsipyla*.

2.1.2.2 Características de campo:

Caoba en general tiene un aspecto que la distingue en el campo, los árboles adultos suelen ser muy corpulentos, más de un metro de diámetro a la altura del pecho, su fuste es derecho y tiene contrafuertes en la base que en algunos casos alcanzan más de 2 metros de altura, sus ramas tienen un aspecto robusto cuyo color de la corteza casi no varía con relación al del fuste, la copa es brillante en su aspecto general.

Las hojas suelen ser brillantes y puede distinguirse la forma asimétrica de sus folíolos. Así como también los frutos son erguidos de color grisáceo hasta rojizo, miden más de 10cm de largo, lo que los hace muy conspicuos, están colocados en los extremos de las ramillas; cuando los frutos caen quedan abiertos al pie del árbol, lo que ayuda para su identificación. Jobo tiene sus frutos pequeños y no tiene contrafuerte significativo, por lo que difícilmente puede confundirse con esta especie en el campo.

2.1.2.3 Descripción botánica:

Árbol de gran tamaño, de 30 a 60 metros de altura con el fuste limpio hasta los 25 metros de altura, los árboles adultos miden entre 75 a 350 cm. a la altura del pecho.

Copa con diámetro de 14 m. Presenta ramitas gruesas de color castaño con muchos puntos levantados o lenticelas.

Fuste recto, libre de ramas en buena proporción, bastante cilíndrico, los contrafuertes pueden tener una altura de más de 4 metros.

Corteza externa color café rojizo oscuro con muchas fisuras profundas a lo largo del fuste, la corteza interna es de un color rosado rojizo hasta cafésaceo. Sabor amargo.

Hojas alternas grandes, paripinnadas alternas de 20 a 40 cm. de largo; pecioladas, portando de 6 a 12 folíolos delgados oblicuamente lanceolados por lo regular de 8 a 15 cm. de largo y 2.5 a 7 cm. de ancho, acuminados en el ápice, agudos o muy oblicuos en la base. Haz verde oscuro brillante, envés verde pálido.

Flores colocadas sobre panículas de 10 a 20 cm. de largo o más, glabras; cáliz 2 a 2.5mm de largo, lóbulos cortos, redondeados; 5 pétalos ovados de color blanco, 5 a 6mm de largo; 10 estambres formando un tubo cilíndrico con dientes agudos o acuminados.

Fruto es una cápsula ovoide dehiscente, comúnmente de 6 a 25 cm. de largo y 2 a 12 cm. de diámetro, reducido hacia el ápice en punta, color pardo grisáceo, lisa o diminutamente verrugosa, con 4 y 5 valvas leñosas de 6 a 8 mm de grueso; cada cápsula contiene entre 45 a 70 semillas, esponjosas y frágiles.

Semillas sámaras, aladas, livianas, de 7.5 a 10.0 cm. de largo por 2.0 a 3.0 cm. de ancho, de color rojizo café zaceo, sabor muy amargo.

Distribución

Es la especie del género que tiene el área de dispersión más extensa. Se distribuye naturalmente del Sur de México, vertiente del Atlántico en América Central hasta el Valle del Amazonas de Brasil y el Perú.

En Guatemala se encuentra distribuida en los departamentos de Petén, Quiché, Alta Verapaz, Izabal.

2.1.2.4 Ecología:

Es una especie pionera longeva (pioneras especies que aparecen en el bosque y permanecen por muchos años). Aunque es heliófila, es tolerante a la sombra leve, propiedad que le permite desarrollarse bajo la sombra de pioneros iniciales como Balsa (*Ochroma pyramidale*) y Guarumo (*Cecropia* spp.). Se encuentra en pequeñas manchas en el bosque, frecuentemente separadas.

Zonas de vida: Se encuentra en las zonas de vida del Bosque húmedo y muy húmedo subtropical (cálido) y tropical.

Altitud: Crece en tierras bajas tropicales entre los 0 a 1,500 m SNM de altitud.

Precipitación: Con precipitaciones promedio entre 1,000 y 3,500 mm.

Temperaturas: Temperaturas promedio de 23 a 28° C.

Suelos: La especie prefiere suelos profundos y ricos en materia orgánica. Su desarrollo óptimo ocurre en suelos franco arenosos a arcillosos, fértiles, con buen drenaje interno y externo, pH entre 6.9 a 7.8. Donde el manto freático no esté muy distante de la superficie y las raíces puedan alcanzar zonas húmedas durante todo el año.

Propagación de plantas

Regeneración natural: A la fecha no se implementan sistemas silviculturales basados en la regeneración natural por la falta de presión económica y política y por deficiencias administrativas en nuestros países, pero la limitante en aumentar las plantaciones de Caoba es de índole técnico, es decir la dificultad de encontrar solución a los ataques de *Hypsipyla*. En otros aspectos (forma, crecimiento, valor, adaptabilidad, facilidad de manejo de semillas y producción de plantas) la Caoba es una especie inusualmente apta para el cultivo en plantaciones, tanto en bloques como sistemas agroforestales.

Floración y fructificación: La caoba comienza a florecer entre los 12 y 15 años, durante los meses de noviembre y abril. Los frutos aparecen regularmente de marzo a agosto.

Semillación:

Recolección: El fruto madura entre diciembre y enero, la recolección se realiza de febrero a abril, la maduración tarda aproximadamente 6 meses.

Los frutos se recolectan directamente del árbol, antes que las cápsulas se abran, cuando muestran un color café claro. El árbol puede ser escalado haciendo uso de equipo apropiado como espolones, cinturón y casco. El escalador corta los frutos teniendo cuidado de no dañar las ramas. La producción de frutos varía de 125 kg a 148 kg por árbol. Los rendimientos usuales varían de 3.8 a 4.5 kg de semilla por árbol.

Procesamiento: Una vez recolectados los frutos, son transportados en sacos de yute a un sitio techado donde puedan extenderse sobre lonas

aproximadamente por 5 días, para permitir que concluya el proceso de maduración y se abran lentamente. Luego son trasladados al patio de secado y se asolean por periodos de 4 horas, durante 3 días. La semilla se extrae del fruto manualmente y se asolea nuevamente por 4 horas. Para desalar las semillas se friccionan manualmente.

Calidad física: El número de semillas por kg varía entre 1,800 a 3,000. Los porcentajes de pureza varían entre 95 y 99, con un contenido de humedad inicial entre 9 y 12%.

Germinación: La germinación se inicia de 1 a 2 semanas después de la siembra y finaliza a la sexta semana. Los porcentajes de germinación reportados varían de 80 a 95%. La germinación es hipogea.

Tratamientos pre-germinativos: La especie no los requiere.

Almacenamiento: Las semillas son ortodoxas y conservan su poder germinativo hasta por 7 a 8 meses almacenadas a temperatura ambiente en bolsas de papel. Almacenadas en refrigerador, en bolsas plásticas herméticamente selladas, conservan la viabilidad por más de 4 años.

Las semillas conservan su poder germinativo por 8 años si son almacenadas a 4° C y con contenido de humedad de 4%.

Principales fuentes de semilla: CATIE, Costa Rica. Jardín Botánico Habana, Cuba y Honduras.

Manejo en vivero: La semilla se puede sembrar en las eras o camas (para la producción de pseudoestacas) preferiblemente con sombra inicial o directamente en bolsas. Para la producción en bolsas se utilizan 2 a 3 semillas

por bolsa, colocadas 1 a 2 cm. de profundidad. Las plantas alcanzan alturas adecuadas para plantación (30 cm. aproximadamente) en 5 a 12 meses.

Plantación: La profundidad de suelo recomendada es de 15 a 30 cm. Esta especie no debe establecerse en plantaciones puras, sino en combinación con otras especies de crecimiento más rápido, como Leucaena, Madre cacao, Guanacaste, Genízaro, Teca u otras; con el objetivo de evitar el ataque del barrenador de yemas y dar sombra a las plantaciones jóvenes, ya que la necesitan en la primera etapa del crecimiento. Se debe evitar la combinación con Eucalipto, ya que este crece agresiva y rápidamente, y la sombra producida afecta a las plantillas de Caoba, pudiendo quedar oprimidas.

Se recomienda espaciamiento de plántulas de caoba cada 5 ó 6 plantas de la especie principal, en las dos direcciones.

Manejo: Debe hacerse una buena preparación del terreno y un buen control de malezas durante los primeros 3 años, durante el primer año se debe realizar raleo a los arbolitos, ya que son muy susceptibles a la competencia de malezas.

El programa de manejos se basa en raleos, con la finalidad de permitir el desarrollo de los mejores árboles para la producción de fuste de óptima calidad. El rodal debe ser manejado como un solo conjunto, principalmente si la otra especie es maderable. Se deben hacer raleos hasta tener un promedio de 200 a 300 árboles/ha. El ciclo completo de período de rotación puede ser de 20 a 25 años.

Rendimientos: Se obtienen volúmenes promedio de 7 a 11 m³/ha/año.

Plagas y enfermedades: La plaga más seria que ataca principalmente los brotes tiernos, frutos y semillas, es la *Hypsipyla grandella*. Esta plaga provoca

los mayores daños, tanto a nivel de vivero como de plantaciones jóvenes, y ha limitado el establecimiento de plantaciones puras a lo largo de los trópicos. El barrenador de yemas es una plaga que ataca la yema apical de la planta, ocasionado su muerte. Para sobrevivir la planta desarrolla una nueva yema apical. Debido a este ataque inicial y otros posteriores no se desarrolla un fuste recto. No obstante, el barrenador solo vuela hasta alturas de 2 a 2.5 m., por lo tanto, es una plaga que afecta en los 2 a 3 primeros años.

Otras plagas, son los perforadores del genero *Platypus* que producen pequeños orificios en la madera. Para aliviar un poco el ataque de *Hypsipyla*, que en general suele presentarse con mayor frecuencia en plantaciones (monocultivos), es conveniente hacerlo en franjas en condiciones de bosques naturales, o en plantaciones mixtas.

2.1.2.5 Características generales de la caoba:

Generales: Se considera que la madera de esta especie es una de las mejor conocidas en el mundo, por lo que ha sido el patrón de comparación durante mucho tiempo para todas las otras especies en la fabricación de muebles.

Color: Su madera es de duramen rojizo, rosado, salmón coloreada o de color amarillento cuando está fresca poniéndose más oscura después de secarse al aire, la albura es delgada y de color amarillento.

Grano: Grano recto a ligeramente entrecruzado, algunas veces con abigarramientos.

Textura: Textura mediana.

Dureza: de dura a moderadamente blanda y quebradiza.

Veteado: Figura atractiva.

Brillo (lustre): Superficie brillante, y lisa al tacto después de cepillada.

Sabor: Sabor dulce a insípido.

Olor: olor característico debido a los aceites y resinas que posee.

2.1.2.6 Propiedades físicas:

Moderadamente liviana a moderadamente pesada, peso específico de 0.50 a 0.60 gr. /cm³, de 25 a 53 libras por pie cúbico.

Tabla II. Propiedades físicas caoba

Propiedades Físicas	Valor	Clasificación
Peso específico verde (gr./ cm ³)	0.60	
Peso específico seco al aire (gr./ cm ³)	-	-
Peso específico anhidro (gr./ cm ³)	0.50 - 0.52	Mediano
Peso específico básico (gr. / cm ³)	0.45 – 0.46	Moderadamente pesada
Contracción volumétrica total (%)	7.80 - 8.40	Baja
Contracción tangencial total (%)	4.11	Baja
Contracción radial total (%)	3.00	Baja
Relación: Contracción tangencial total	1.10 - 1.40	Favorable (Baja)
Contracción radial total		

Fuente: IRENA, 1992, ESNACIFOR, 1988 & Herrera, 1996.

2.1.2.7 Propiedades mecánicas:

Sus propiedades mecánicas se clasifican desde bajas a algo medianas.

A continuación se tabulan algunas propiedades de la caoba, dentro del rango del 12% de humedad.

Tabla III. Propiedades mecánicas caoba

Propiedades Mecánicas (contenido de humedad 12%)		Valor	Clasificación
Flexión estática	Módulo de Rotura (kg/cm ²)	842	Algo mediana
	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	100,000 - 106,000	Algo mediana
Compresión	Paralela a la fibra Resistencia máxima (kg/cm ²)	491	Baja
	Perpendicular a la fibra Límite proporcional (kg/cm ²)	67	Baja
Cizalladura	Resistencia máxima Plano radial (kg/cm ²)	89 - 456	Algo mediana
Dureza Janka	Resistencia lateral (kg/cm ²)	364 - 388	Algo mediana
	Resistencia en los extremos (kg/cm ²)	483	Algo mediana
Extracción de clavos	Resistencia lateral (kg)	-	-
	Resistencia en los extremos (kg)	-	-

Fuente: ESNACIFOR, 1988 e IRENA, 1992.

2.1.2.8 Características anatómicas:

La madera está formada por vasos, fibras y parénquima. La porosidad vascular parenquimal presenta las mismas características de la porosidad vascular.

Canales: Muy largos y finos paralelos, con depósitos de goma en su interior.

Marcas estriadas: Estratificadas que se aprecian muy bien.

Parénquima: visible a simple vista, apotraqueal en fajas marginales, con 2, 4 ó más células de ancho; difuso escaso; con óleo-resina y cristales.

Poros: poco visibles a simple vista; en distribución difusa; de forma ligeramente ovalada a circular; solitarios y múltiples; muy pocos a numerosos de 2 a 14 poros por mm²; medios en su mayoría variando de 91 a 232 μ m de diámetro tangencial.

Vasos: vasos con placa de perforación simple oblicua; puntuaciones inter vasculares alternas, poligonales, muy pequeñas; elementos vasculares predominantemente sin prolongaciones y en menor proporción prolongaciones cortas en el extremo; cortos a largos. Poros obstruidos con óleo-resina y sustancia blanca.

Radiales: visibles bajo lupa en sección transversal y tangencial; homocelulares y heterocelulares multiseriados; extremadamente bajos a muy bajos variando de 202 a 758 μ m de altura; estratificados; pocos a poco numerosos de 2 a 7 radiales por mm.; puntuaciones radiales vasculares semejantes a inter vasculares.

Fibras: estrechas a medias, de paredes muy delgadas a delgadas; muy cortas a largas; septadas.

Anillos de crecimiento: delimitados por fajas o líneas de parénquima marginal.

Punteaduras: Intervasculares simples alternas con abertura incluida. De pequeñas a medianas (3-5u), punteaduras radiovasculares de circulares a oblongas.

Inclusiones inorgánicas y orgánicas: Algunas veces se presentan cristales, así como líneas de estratificación. Depósitos de goma son comunes.

2.1.2.9 Durabilidad natural:

El duramen de Caoba es resistente a hongos de pudrición, moderadamente resistente a termitas y tiene baja resistencia a la taladradora marina.

2.1.2.10 Preservación:

Difícil de tratar con productos preservantes en duramen y por el sistema vacío-presión.

2.1.2.11 Secado:

La madera de Caoba seca fácil y rápidamente sin defectos apreciables, ya que posee una alta estabilidad dimensional, gracias a sus bajas contracciones. No presenta problemas considerables de secado como torceduras y colapso.

2.1.2.12 Trabajabilidad:

Es una madera de fácil trabajabilidad con herramientas manuales y con maquinaria; fácil de aserrar y cortar, cepillar, encolar, clavar, atornillar, tornear y se obtienen excelentes acabados.

2.1.3 Cedro

2.1.3.1 Especificaciones generales cedro:

Nombre común: Cedro

Sinónimos: *Culche (Maya), Culche (México), Cedro colorado (El Salvador), Cedro real (Nicaragua), Cedro amargo, Cedro blanco, Cedro Cóbano (Costa Rica).*

Nombre científico: *Cedrela odorata* L.

Sinónimos: *Cedrela angustifolia* Mocino & Sesse ex DC., *C. brounii* Loef. ex D. Ktze, *C. fissilis* Vellozo, *C. guianensis* A. Juss, *C. longipes* Blake, *C. mexicana* Roem, *C. mexicana* var. *Puberula* DC, *C. occidentalis* DC. & Rose, *C. sinteisii* C. DC, *C. velloziana* Roem, *C. yucatanana* Blake, *Surcnus brounii* (Loefl. ex O. Ltz.) Ktze.

Esta madera es tan conocida que muchos autores consideran que su descripción está por demás citarla, esto es debido a que ésta ha estado en el comercio local e internacional por varios de cientos de años y fueron los

exploradores españoles los que usaron por primera vez el nombre de Cedro para esta especie por el olor aromático de su madera como una asociación que se le hacía con el Cedro del Viejo Mundo.

El nombre genérico fue establecido por Patrick Browne en 1756 en una publicación bajo el título de *Civil and Natural History of Jamaica*, en donde se hace una descripción sobre las particularidades de este género. *Cedrela* y sus demás especies se considera como una de las maderas comerciales y preciosas más importantes de América Latina en especial *C. Odorata*.

Esta especie cada día es máspreciada dado a que ya se ha puesto escasa, pues casi la mayoría de rodales naturales no tienen ejemplares con edad de corta, excepto en casos de Parque Nacionales, en donde está restringido su corta; plantaciones parecen haber pocas. En el departamento de Petén su explotación intensiva data del año de 1900, cuando muchas compañías internacionales obtuvieron licencias para explotar esta especie y otra de la misma familia (*Swietenia macrophylla* King, llamada *Caoba*), se estima que el número de árboles explotados en ambas costas asciende a unos 100,000 de Cedro con diámetros mayores a un metro a la altura del pecho, con un monto de 500, 000,000 de pies tablares números redondos todos.

2.1.3.2 Características de campo:

La característica peculiar de esta especie es su corteza hendida a lo largo del fuste, de color oscuro hasta moreno rojiza, con partes de la superficie blanquecina y brillante; el tronco suele ser recto, esbelto y con pequeños contrafuertes en la base; las hojas al estrujarlas despiden un olor amargo parecido al de los ajos, característica que se extiende al sabor de la madera.

Los árboles muy jóvenes tienen su corteza lisa y ligeramente blanquecina, también típico de su aspecto, las inflorescencias son péndulas y presentan los frutos abiertos en el ápice cuando han dejado salir la semilla, lo que ayuda a identificar la especie, el cedro es una especie muy conocida debido a que por más de 50 años lo precioso de su madera, que se exporta a otros países, ha constituido una de las principales fuentes de trabajo para muchas personas. Sin embargo suele confundirse en el campo con otro árbol cuyo aspecto de fuste es muy parecido, éste se denomina comúnmente como Jobo (*Spondias mombin*).

Un corte en la corteza de Jobo muestra características muy similares a las que tiene Cedro, pero se distingue porque el color interno de la corteza de la primera especie es más clara y de un tono rosado intenso, mientras que el Cedro lo tiene rosado rojo y con un ligero olor amargo. Cedro tiene las fisuras de la corteza profundas en árboles desarrollados, mientras que Jobo no las presenta muy profundas y algunas veces presenta ciertas protuberancias, especialmente en individuos jóvenes; la corteza es amarga en ambos casos, Jobo no exuda en abundancia como sucede con Cedro y las hojas de Jobo no tienen olor a ajos sino que su aroma es el característico de la familia Anacardiaceae.

2.1.3.3 Descripción botánica:

Árbol de mediano a grande de 12 a 60 m de altura y con un diámetro a la altura del pecho de 60 cm a 2.5m.

Copa Ancha y redonda. Ramificaciones gruesas con lenticelas redondas en ramas jóvenes.

Fuste recto, bien formado, cilíndrico; con contrafuertes en la base.

Corteza externa amarga y de color rojizo, profundamente fisurada. Interna color rosada, cambiando a pardo amarillenta. Posee olor a ajo y sabor amargo.

Hojas compuestas, alternas paripinnadas y grandes, hasta de 1 m de largo. Peciolos de 8 - 10 mm de largo, delgados, foliolos 10-30 opuestos, oblicuamente lanceolados, comúnmente de 4.5 a 14 cm de largo y 2.0 a 4.5 cm de ancho, largamente acuminados, en la base de un lado anchamente redondeados y por el otro agudo (desigual) glabros o más o menos glabros o puberulentos en las venas del envés.

Flores Masculinas y femeninas en la misma inflorescencia, colocadas en panículas terminales o axilares de 35 a 35 cm. de largo; los pedicelos de 1 a 2 mm de largo, cáliz esparcidamente puberulento, los lóbulos agudos, pétalos oblongos de color crema verdoso, 5 a 6 mm de largo, agudos u obtusos, velutinoso puberulentos; filamentos glabros.

Frutos en cápsulas con dehiscencia longitudinal septicida (se abre en cinco carpelos), 4 a 7 cm de largo; es leñoso, color café oscuro, de superficie externa lenticelada y lisa; el fruto se desprende una vez liberadas las semillas; en estado inmaduro, poseen un color verde y al madurar se tornan café oscuro. Contiene un exudado blanquecino, con fuerte olor a ajo antes de madurar. Tiene de 20 a 25 semillas pequeñas y alargadas.

Semillas aladas, color pardo, elíptica, miden 1.2 a 4.0 cm de largo y entre 5 a 8 mm de ancho, con la parte seminal hacia el ápice del fruto; la testa es de color castaño rojizo; el embrión es recto, comprimido, color blanco o crema y ocupa gran parte de la cavidad de la semilla; tiene dos cotiledones grandes, planos, foliáceos, frondosos, ligeramente ovoides; la radícula es corta e inferior; estas

semillas presentan una delgada capa de endospermo, triploide, firme, carnosos, amargo, blanco y opaco.

Distribución:

En Guatemala se le encuentra en los departamentos de Petén, Quiché, Alta Verapaz, Izabal, Baja Verapaz, San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla y Santa Rosa.

2.1.3.4 Ecología:

Zonas de vida: Se desarrolla en las zonas de vida del Bosque seco subtropical, Bosque húmedo subtropical (cálido), Bosque muy húmedo subtropical (cálido).

Altitud: Se le encuentra desde el nivel del mar hasta 1,200 msnm.

Temperatura: Con temperaturas promedio entre 20 a 32°C.

Precipitación: Precipitación entre 1,200 a 3,000 mm por año, con una estación seca de tres a cuatro meses.

Suelos: Se adapta a una gran variedad de suelos, principalmente bien drenados, de textura arenosa, franco arenoso y arcilloso.

Producción de plantas

Floración y fructificación: Existe asimetría en los procesos fenológicos según región y sitio, sin embargo, la floración se presenta con frecuencia entre marzo

y junio y la fructificación en julio. La caída de las hojas se efectúa en junio y el brote de hojas nuevas en enero y abril. Alcanza su madurez reproductiva a la edad de 15 años y luego fructifica abundantemente cada año.

Semillación:

Recolección: Los frutos deben ser recolectados del árbol. El índice de madurez, es cuando las cápsulas presentan una coloración café oscura y no han iniciado el proceso de apertura de los lóculos, pues este es el indicador de la diseminación natural. La caída de las semillas se ha observado en agosto. Cada cápsula puede contener entre 25 y 40 semillas fértiles.

Procesamiento: Una vez colectados los frutos son transportados rápidamente al lugar de procesamiento. Para extraer las semillas es necesario exponer los frutos al sol durante 24 a 35 horas, en jornadas de 4 a 6 horas por día, para su post-maduración, sin permitir que se sequen completamente para evitar que las semillas pierdan su viabilidad. También se les puede poner a secar al sol sobre una malla metálica (1/4), las semillas se colectan debajo de la malla.

Calidad física: Un kilogramo contiene aproximadamente de 15,000 a 69,000 semillas, con un promedio de 32,000 y un contenido de humedad de 30%; presenta un porcentaje de pureza de 40 a 70. Bajo condiciones ambientales, la viabilidad de las semillas disminuye rápidamente después de un mes.

Germinación: En el germinador se riegan las semillas al voleo y se cubre con una capa de arena, la germinación es epigea y se realiza por la parte inferior de la semilla; después de los cotiledones, se desarrollan hojas trifoliadas, de 4 cm de longitud aproximadamente, las cuales van cambiando a la forma madura de hojas pinadas.

La semilla fresca presenta una viabilidad del 80% y se logran porcentajes de germinación de 85 a 95%, sin tratamiento pre-germinativo. La germinación se inicia de 8 a 15 días después de la siembra y se completa a los 15 a 18 días.

Tratamientos pre-germinativos: Dadas las características morfológicas y anatómicas, así como la alta capacidad germinativa natural, la especie no requiere tratamientos pre-germinativos. Sin embargo, si se desea una germinación más uniforme, se sumerge la semilla en agua a temperatura ambiente por 24 horas antes de la siembra.

Almacenamiento: La viabilidad de las semillas disminuye rápidamente después de un mes bajo condiciones ambientales, pero almacenadas adecuadamente se conservan por varios meses. Las semillas almacenadas en bolsas de polietileno a 5°C de temperatura y 7% de contenido de humedad, mantienen un porcentaje de germinación de 50 a 60 a los dos años. Por su resistencia al almacenamiento se considera una especie ortodoxa.

Fuentes de semilla: BANSEFOR, Guatemala.

Manejo en vivero: El trasplante se realiza con la aparición de los indicios de las hojas verdaderas. En ese momento la plántula ha desarrollado raíces profundas, por lo que es necesario extraerlas cuidadosamente con la ayuda de una espátula y colocarlas en un recipiente con agua para evitar la desecación. Después del trasplante es necesario colocar sombra durante unos 10 días. El tiempo de permanencia en el vivero es de tres a seis meses.

Se debe remover las plantas dentro del vivero y disminuir el riego de estas durante el último mes de permanencia en el vivero para rustificarlas. El día que se trasladan al sitio de plantación se deben regar adecuadamente.

Plantación: Esta especie no debe establecerse en plantaciones puras, sino en combinación con otras especies de crecimiento más rápido (*Leucaena leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Tectona grandis*, *Samanea saman*), para reducir el ataque del barrenador de los brotes (*Hypsipyla grandella*) y dar sombra a las plantillas jóvenes, ya que la necesitan en la primera etapa de su crecimiento. Se debe evitar la combinación con eucalipto, especie de crecimiento rápido, para no propiciar que las plantillas queden oprimidas.

Cedro es sumamente apetecido por el barrenador de yemas, por lo cual es recomendable plantar en mezcla con otras especies unas 10 a 15 plantas por hectárea.

Manejo: Debe hacerse una buena preparación del terreno y un buen control de malezas durante los primeros tres años. Durante el primer año se debe realizar un plateo a los arbolitos, ya que son muy susceptibles a la competencia de malezas.

El programa de manejo se basa en raleos con la finalidad de permitir el desarrollo de los mejores árboles para producción de fustes de óptima calidad. El rodal debe ser manejado como un conjunto, principalmente, si la otra especie también es maderable. Se deben realizar de cuatro a cinco raleos hasta tener un promedio de 200 a 300 árboles por hectárea. El ciclo completo (corta final) podría ser de 20 a 30 años.

Rendimientos: Se reportan incrementos promedios de 11 a 22 metros cúbicos/ha/año.

Plagas y enfermedades: La plaga más seria del cedro es el gusano barrenador de las Meliaceas, *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae), cuyo daño principal es la perforación de los brotes nuevos, especialmente el brote terminal, el cual se bifurca; esto impide la formación de fustes rectos, disminuyendo el valor comercial del árbol; además, se retarda el crecimiento y, si los ataques son repetidos en plántulas o árboles jóvenes, puede causar la muerte. Asimismo, los frutos pueden ser severamente afectados, lo cual dificulta su multiplicación. También se considera como plaga del cedro el *Sematoneura grijpmani*, que también destruye las semillas.

2.1.3.5 Características generales del cedro:

Color: Duramen color marrón rosado con lustre áureo (Aguilar, 1992), albura color pardo amarillento.

Olor fragante característico.

Sabor levemente amargo.

Grano derecho y algo veteado semejante a Caoba.

Textura mediana.

Figura compuesta por arcos superpuestos con reflejos dorados y satinados.

Brillo Superficie brillante y lisa al tacto, cuando esta cepillada.

Dureza Moderadamente dura.

2.1.3.6 Características físico-mecánicas:

Madera moderadamente liviana a moderadamente pesada, peso específico 0.40 - 0.50 gr/cm³, 0.36 - 0.65, 0.43, su peso verde promedio es de 620 kg/m³ con 74% de humedad. Blanda pero firme, elástica.

Tabla IV. Propiedades físicas cedro

Propiedades Físicas	Valor	Clasificación
Peso específico verde (gr/cm ³)	0.62	
Peso específico seco al aire (gr/cm ³)	0.39	
Peso específico anhidro (gr/cm ³)	0.36	Bajo
Peso específico básico (gr/cm ³)	0.33	Liviana
Contracción Volumétrica Total (%)	8.10	Bajo
Relación: Contracción tangencial total	1.50	Normal
Contracción radial total		

Fuente: IRENA, 1992.

2.1.3.7 Propiedades mecánicas:

Las propiedades mecánicas se clasifican de muy bajas a bajas, clasificándose como madera estructural del grupo C.

Tabla V. Propiedades mecánicas cedro

Propiedades Mecánicas (contenido de humedad 12%)		Valor	Clasificación
Flexión estática	Módulo de Rotura (kg/cm ²)	511	Baja
	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	74,000	Baja
Compresión	Paralela a la fibra Resistencia máxima (kg/cm ²)	404	Muy baja
	Perpendicular a la fibra Límite proporcional (kg/cm ²)	37	Muy baja
Cizalladura	Resistencia máxima Plano radial (kg/cm ²)	57	Muy alta
Dureza Janka	Resistencia lateral (kg/cm ²)	220	Baja
	Resistencia en los extremos (kg/cm ²)	364	Baja
Extracción de clavos	Resistencia lateral (kg)	57	Baja
	Resistencia en los extremos (kg)	42	Muy baja
Impacto	Trabajo de corte (KJ/m ²)	37	

Fuente: IRENA, 1992.

FATIGAS ADMISIBLES PARA EL CÁLCULO DE ESFUERZOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

Tabla VI. Fatigas admisibles para el cálculo de esfuerzos en elementos estructurales

Propiedad mecánica		kg/cm²
Flexión Estática	Módulo de Rotura	122
	Módulo de Elasticidad	56,000
Compresión	Paralela	105
	Perpendicular	14
Cizalladura	Resistencia máxima	18

Estructuralmente se clasifica en el grupo "c" (IRENA, 1992).

2.1.3.8 Características anatómicas y microscópicas:

Marcas estriadas: Ausentes.

Anillos de crecimiento: distintos e indicados por fajas concéntricas angostas de parénquima leñoso, de color más claro que el fondo y a veces por el arreglo de los poros en anillos.

Poros no numerosos, uniformemente distribuidos con excepción de los anillos mencionados, usualmente en grupos de 2 a 3 abiertos o cerrados; las líneas vasculares producen rasgaduras finas, más oscuras que la masa fundamental y a menudo llenas de goma oscura.

Parénquima paratraqueal escaso y visible con facilidad; además, se localiza el apotraqueal escaso y bandas paralelas de parénquima terminal.

Radios de tamaño mediano, multiseriados en su mayoría y uniseriados, de tipo homogéneo y heterogéneo.

Fibras de tamaño mediano, ventriformes y algunas septadas con 2 a 3 septos por fibra.

Punteaduras: Intervasculares simples alternas, abertura incluida, de medianas a grandes (7-14u), punteaduras radiovasculares de circulares a oblongas.

Traqueidas: Vasculares presentes.

Inclusiones inorgánicas y orgánicas: gomas son comunes.

2.1.3.9 Durabilidad natural:

Duramen moderadamente durable a durable, posee cierta resistencia al ataque de hongos e insectos como la polilla.

2.1.3.10 Preservación:

Fácil de tratar con productos preservante en albura y difícil de tratar en duramen.

2.1.3.11 Secado:

Seca al aire con velocidad moderada, desarrollando defectos moderados, tales como arqueaduras y torceduras.

2.1.3.12 Trabajabilidad:

Es fácil de trabajar, cepillar, tallar, torneear, pulir y lijar. Se obtienen buenos acabados y colapso. Es una madera fácil de aserrar y cortar, de características excelentes respecto al cepillado.

2.1.3.13 Usos de la madera:

Los primeros colonizadores y mayas la utilizaron por sus características principalmente para canoas y construcción de casas, pues es una madera que no es atacada por la polilla, también se usó desde los tiempos de la colonia intensamente para otros usos como muebles, gabinetes, etc., teniéndola como una madera muy fina y preciosa.

Fue motivo de gran exportación para madera de cajas para puros y cigarrillos desde el año 1800, hasta la fecha todavía se usa para cajas de perfumes y lociones de calidad; estos usos se le dieron por su fácil trabajo y robustez con relación a su peso.

Puede usarse en acabados y divisiones interiores, muebles de lujo, chapa plano decorativas, artículos torneados, gabinetes de primera clase, ebanistería, puertas y ventanas, puertas talladas, contrachapados, botes (partes internas), molduras y paneles.

Palillo y cajas de fósforos, regular para la producción de pulpa para papel y carpintería.

Corresponde al grupo de maderas denominadas de utilidad general, puede ser utilizada para pisos.

Ornamental: Se le usa con frecuencia en Guatemala para ornamento y también como sombra de café y para hacer alamedas, pero a la fecha por su demanda en todos estos sitios ha sido cortada para el mercado y actualmente los arboles existentes son de diámetros no aprovechables.

Resina: Es de muy buena calidad, se uso para preparar muestras de laboratorio.

Uso medicinal: La corteza puede servir como febrífugo (contra la fiebre) y en cocimiento de hojas y corteza para dolores y contra el paludismo.

Melífera: En época de floración es visitada por las abejas.

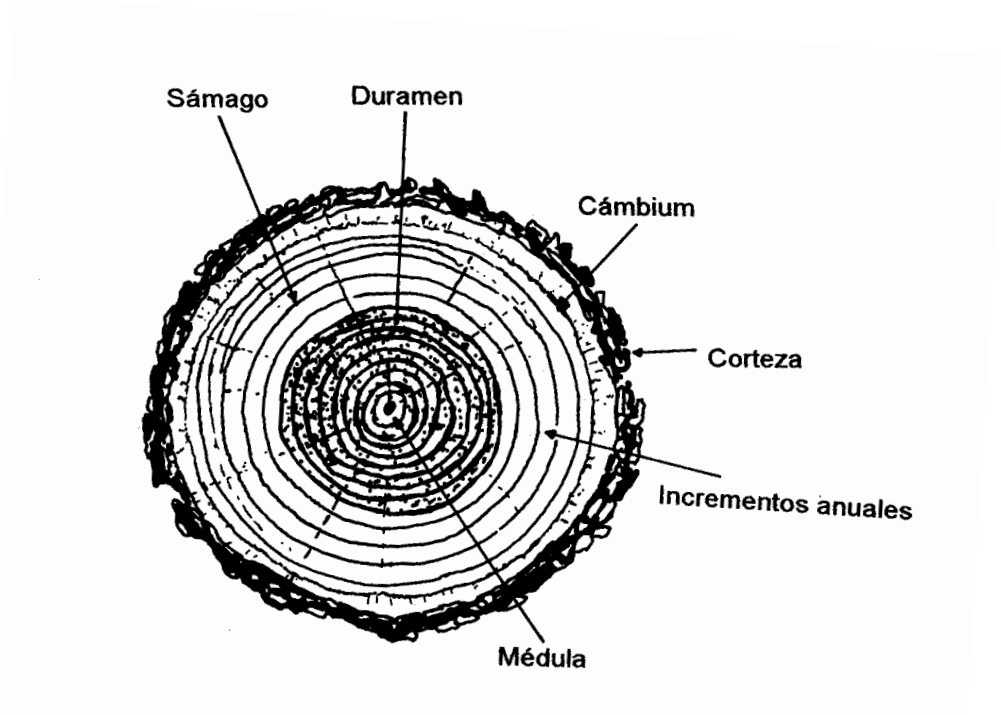
2.2 Requerimientos de humedad

Antes, mencionaremos unos conceptos básicos de la estructura interna de la madera y el agua en ella.

Estructura de la madera

La madera, como parte fundamental del tronco de los árboles tiene funciones de sostén de ramas y transporte de alimentos. Esto le confiere al material, características como porosidad (presencia de espacios vacíos) y elevada resistencia mecánica en relación con su peso, lo que origina que sus propiedades se manifiesten en diferente magnitud según las direcciones de corte.

Figura 1. Partes del tronco.



Partes del tronco

Corteza es la cubierta protectora exterior y está conformada por tejidos muertos; sirve, además de proteger al árbol de agentes externos de daño, para evitar la evaporación del agua del tronco.

El cambium es el tejido generatriz ubicado entre la corteza interna y el sámago, produce la corteza hacia afuera y la madera hacia adentro. Si se daña al cambium, la parte afectada muere.

El sámag o **jane** parte viva de la madera generalmente de color claro, está situada entre el cambium y el duramen. Su contenido de humedad es mayor que el del duramen pero, seca más rápidamente que éste.

El duramen o madera de corazón es la parte interna del tronco conformada por tejido muerto. Por lo general, esta madera es más oscura que la albura y su delimitación no siempre está bien definida.

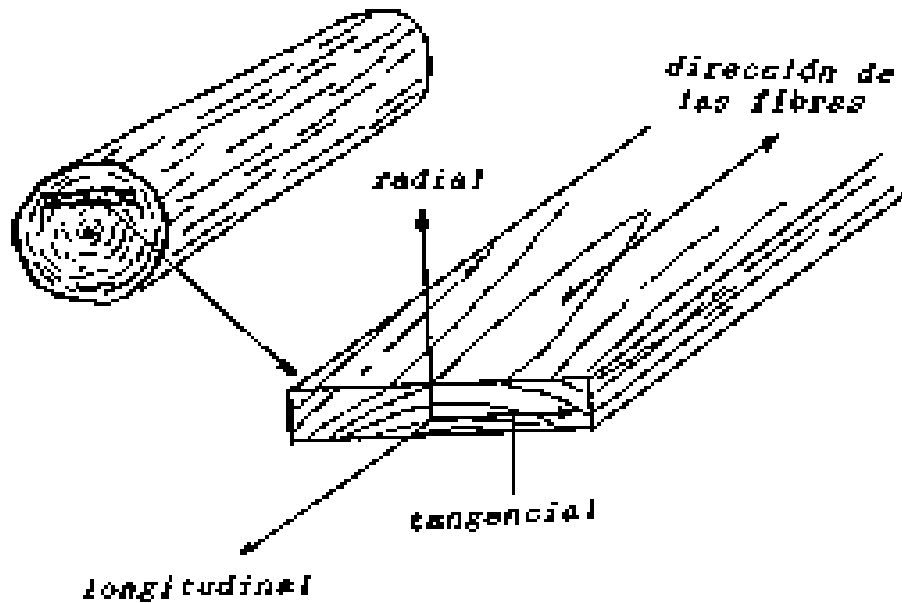
La médula es el núcleo central de un tronco. La madera cercana a la médula tiende a secar con más defectos que el resto del leño.

Anillos de crecimiento son capas concéntricas de engrosamiento diametral, visibles en muchas especies, formadas por acción del cambium.

Cortes de la madera

Los cortes en un tronco pueden ser de cuatro tipos (ver Fig. 2):

Figura 2. Cortes de la madera



Corte transversal o sea de dirección perpendicular al eje del tronco, se produce, por ejemplo, al voltear un árbol o seccionar un tronco.

Corte tangencial cuando se realiza tangencialmente a los anillos de crecimiento del árbol. Es el corte en el que mejor se aprecia el vetado o figura de la madera.

Corte radial cuando tiene dirección paralela a los radios. Es el corte más estable de la madera ante cambios de humedad del material.

Corte oblicuo cuando se realiza de manera intermedia entre el corte tangencial y el corte radial.

Tejidos principales de la madera

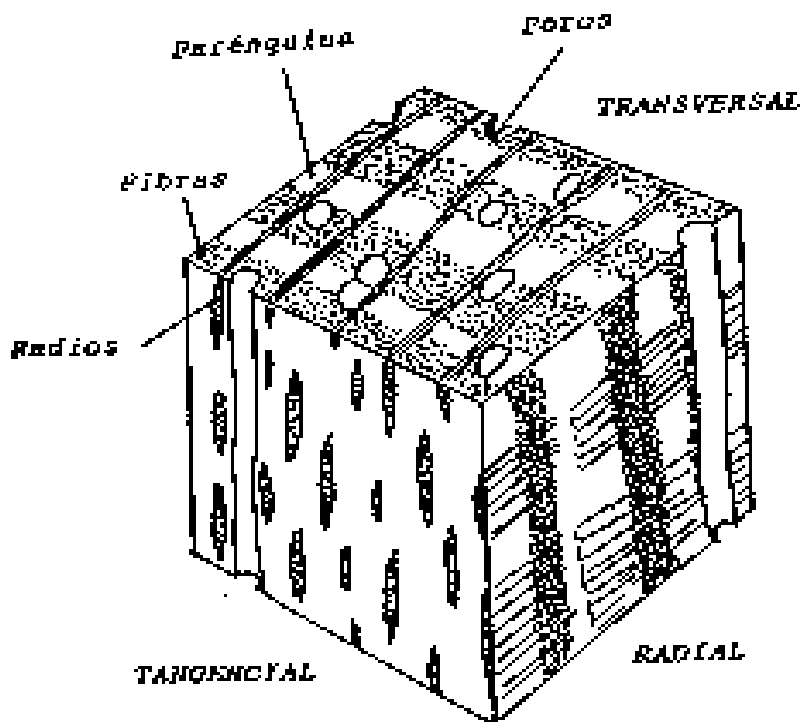
Realizando un corte en la madera y observándolo con lupa o microscopio, se puede apreciar los siguientes tejidos básicos:

Poros, se denomina así al corte transversal de los vasos. Son de diferente tamaño y pueden estar o no agrupados.

Parénquima, es un tejido de reserva que puede ser de dos tipos: longitudinal, un tejido blando y claro, y los radios que se dirigen al centro del tronco. Constituyen zonas de fallas donde se originan las grietas y rajaduras de la madera, durante el secado.

Fibras, tejido que cumple la función de sostén del árbol; sus extremos son ahusados y el interior es hueco. Las paredes son de grosor variable, según la densidad de la madera.

**Figura 3. Tejidos principales de la madera.
Representación esquemática de un trozo de bibosi.
(Ficus glabrata)**



El agua en la madera

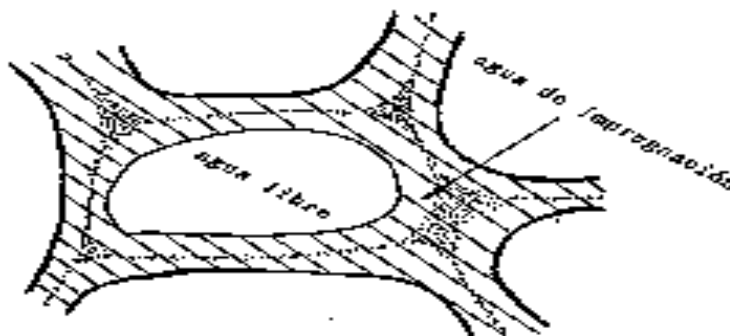
Es la propiedad más importante, pues influye sobre todas las demás, propiedades físicas, mecánicas, mayor o menor aptitud para su elaboración, estabilidad dimensional y resistencia al ataque de seres vivos.

El agua es el vehículo de transporte que utilizan las plantas para su alimento, esto, unido a la higroscopicidad de la madera, hace que esta tenga normalmente en su interior cierta cantidad de agua, que es necesario conocer antes de su uso, debido a las modificaciones que produce en las características físicas y mecánicas. El agua en la madera, puede estar presente de tres formas diferentes:

- **Agua de constitución o agua combinada:** Es aquella que entra a formar parte de los compuestos químicos que constituyen la madera. Forma parte integrante de la materia leñosa (de su propia estructura), y no se puede eliminar si no es destruyendo al propio material (por ejemplo, quemándola).
- **Agua de impregnación o de saturación:** Es la que impregna la pared de las células rellenando los espacios sub microscópicos y microscópicos de la misma. Se introduce dentro de la pared celular, siendo la causa de la contracción de la madera cuando la pierde (de sorción) y de su expansión o hinchamiento cuando la recupera (sorción: retención de agua). Se puede eliminar por calentamiento hasta 100 - 110°C.
- **Agua libre:** Es la que llena el lumen de las células o tubos (vasos, traqueidas, etc.) Es absorbida por capilaridad.

El árbol en pie contiene un elevado nivel de agua. Algunas especies livianas como la balsa y el mapajo pueden contener hasta 300% ó 400% de contenido de humedad; otras muy pesadas como el quebracho colorado llegan hasta un 50% a 60% como máximo.

Figura 4. El agua en la madera



La madera se clasifica también en base a su contenido de humedad, tal como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla VII. Clasificación de la madera en base a su contenido de humedad.

Denominación de estado de la madera	nivel de humedad	lugar de ubicación
Madera verde	de 80 a +200%	bajo cubierta en el bosque
Madera húmeda	25 a 80%	recién cortada
Madera poca seca	de 20 a 25%	aire libre
Madera seca al aire	de 15 a 20%	bajo techo
Madera muy seca	de 8 a 15%	Interiores
Madera anhidra	0 %	Laboratorio

Los requerimientos de humedad, se han dado experimentalmente, pero también dependen del uso para el cual se requiere la madera.

A continuación se indican los porcentajes de humedad recomendados generalmente para las maderas destinadas a la construcción y elementos vinculados a la misma, según diversos autores:²

Tabla VIII. Porcentaje de humedad de acuerdo a su aplicación.

* Muebles, carpintería e instalaciones internas en ambientes con calefacción central	9 - 10 %
* Manufactura similar en ambientes calefaccionados con estufas corrientes	10 - 12 %
* Ventanas, puertas exteriores, cortinas, carpintería con un lado en contacto con el exterior	12 - 15 %
* Tirantería, estructura de techos sin contacto exterior, con ambiente calefaccionado	14 - 16 %
* Maderas destinadas a usos al exterior	14 - 17 %
* Encofrados y similares	15 - 18 %
* Parquet:	
- en ambientes con losa radiante	8 - 10 %
- en ambientes con calefacción central	9 - 12 %
- en ambientes sin calefacción	10 - 14 %

Por lo tanto los requerimientos de humedad para los diferentes tipos de madera depende directamente del uso para el cual se requiere, la única diferencia es el contenido de humedad inicial, que depende directamente de la estructura interna de la madera.

² INSTITUTO NACIONAL DE AGROPECUARIA ARGENTINA

3. DISEÑO DEL HORNO

3.1 Definición de la forma en que se proporcionará calor al horno

El horno recibirá calor proveniente de resistencias eléctricas dispuestas en las paredes del horno, dispuestas de tal forma que no represente peligro para las personas que entren el horno. Aunque al horno se agregará una especie de carrito que transportará la madera previamente apilada en el exterior hacia el interior del horno.

El propósito de las resistencias eléctricas es que ellas dosifiquen la energía en forma de calor proporcionada a la madera para liberar la humedad contenida en ella.

Las resistencias eléctricas se ayudarán, con el uso de ventiladores que proveerán aire, que es el encargado de transportar la humedad que despiden la superficie de la madera. Recordemos que la velocidad del aire es importante ya que a mayor velocidad, mayor capacidad de arrastre, sin embargo si se eleva mucho la velocidad, provocaría un resecamiento de la superficie de la madera generando esfuerzos que pueden dañar la madera o interrumpir en algunos casos el proceso de secado de madera. Para esto se pueden utilizar controladores que varían la velocidad del aire de acuerdo a la etapa de secado de la madera.

Otra consideración importante para el secado de madera es, la humedad relativa del aire, que no es más que la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y la máxima cantidad que puede contener a la misma temperatura. Si aumentamos la temperatura, aumenta la capacidad del aire de

contener vapor de agua, lo que quiere decir que puede absorber mayor cantidad de vapor de agua de la madera. Igualmente si extraemos vapor de agua del aire, bajamos su humedad relativa y aumenta la capacidad de sacar vapor de la madera. A una humedad relativa dada, hay un valor de equilibrio de la humedad de la madera. De allí ya no pierde más humedad. Por eso es que tenemos que ir variando las condiciones del ambiente a medida que la madera se va secando.

El agua contenida en la madera se encuentra bajo diferentes formas (agua libre, agua de saturación y agua de constitución), tal como se describe a continuación:

- **Agua libre:** Es la que da a la madera su condición de “verde” y es la que ocupa las cavidades celulares. La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros. Al comenzar el proceso de secado, el agua libre se va perdiendo por evaporación. Este proceso se produce fácilmente, ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que ya no contiene más agua de este tipo. Al llegar a este punto, la madera estará en lo que se denomina “punto de saturación de las fibras”, que corresponde a un contenido de humedad variable entre el 21 y 32%. Cuando la madera ha alcanzado esta condición, sus paredes celulares están completamente saturadas de agua y sus cavidades vacías. Durante esta fase de secado, la madera no experimenta cambios dimensionales, ni alteraciones en sus propiedades mecánicas. Por tal razón, el punto de saturación de las fibras es muy importante desde el punto de vista físico-mecánico.
- **Agua de saturación:** Es el agua que se encuentra en las paredes celulares. Durante el secado de la madera, cuando ésta ha perdido su agua libre por evaporación y continúa secándose, la pérdida de humedad ocurre con

mayor lentitud hasta llegar a un estado de equilibrio higroscópico con la humedad relativa de la atmósfera.

Para la mayoría de las especies, el equilibrio higroscópico se encuentra entre el 12 y 18% de contenido de humedad, dependiendo del lugar donde se realiza el secado. Es por ello que la madera secada al aire libre solo puede alcanzar estos valores de humedad de equilibrio. Para obtener contenidos de humedad menores, debe acudir al secado artificial para eliminar el resto del agua de saturación.

- **Agua de constitución:** Es el agua que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la destrucción parcial de la madera.

Etapas de secado de la madera:

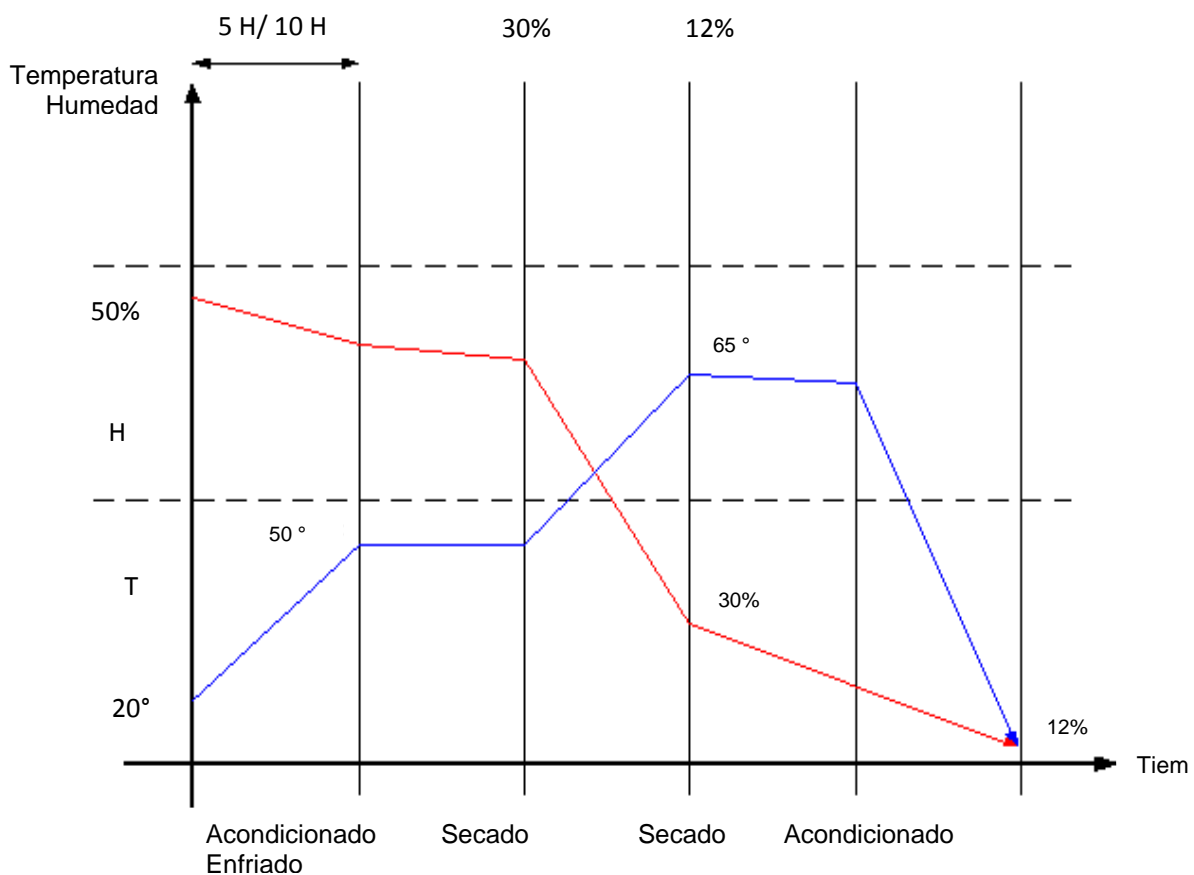
Luego de saber la forma en que se transferirá calor al horno, y de conocer las formas en las que está presente el agua en la madera, definimos las etapas del secado, las cuales son:

- **Primera etapa:** Aquí elevamos inicialmente la temperatura para homogenizar la carga en el horno.
- **Segunda etapa:** Se eleva hasta que se evapora el agua libre. (21 %– 32% contenido de humedad CH).³

³ Ver el contenido de humedad en la madera. Página 63

- **Tercera etapa:** Con el incremento de la temperatura y con ayuda de los ventiladores, el secado se lleva hasta eliminar el agua de saturación (12% - 18% contenido de humedad CH).²
- **Cuarta etapa:** En ésta etapa, lo que se busca es que la madera, entre en equilibrio con el ambiente en el que esté rodeado, por lo consiguiente se deja de proporcionar calor al horno.
- **Quinta etapa:** Antes de que la madera salga al ambiente hay que esperar que se equilibre con el ambiente, si no puede sufrir defectos en la madera.

Figura 5. Secado de madera



3.2 Definición de la forma del horno

3.2.1 Dibujo con medidas del horno

Figura 6. Dibujo con medidas del horno.

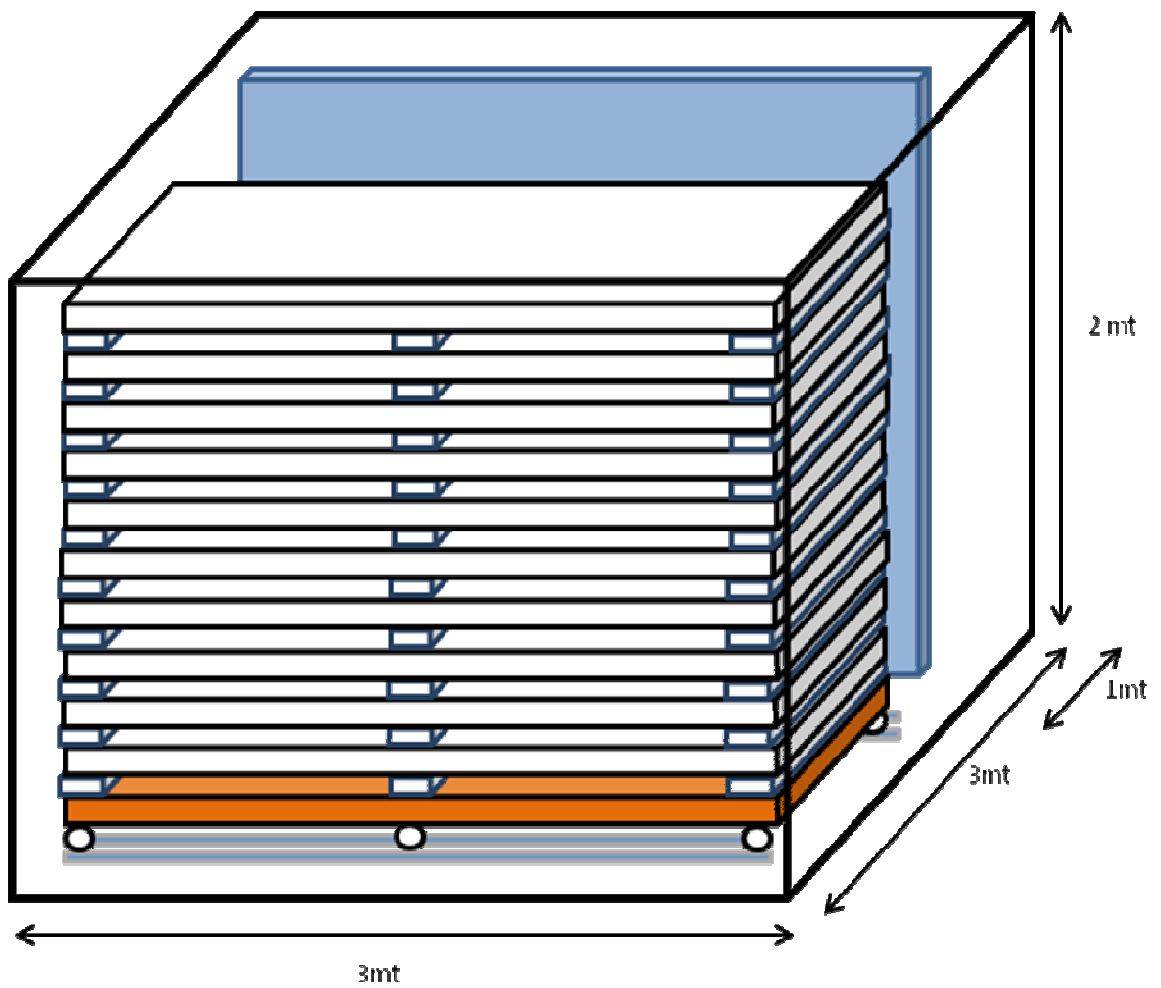


Figura 7. Disposición de los ventiladores en el interior del horno

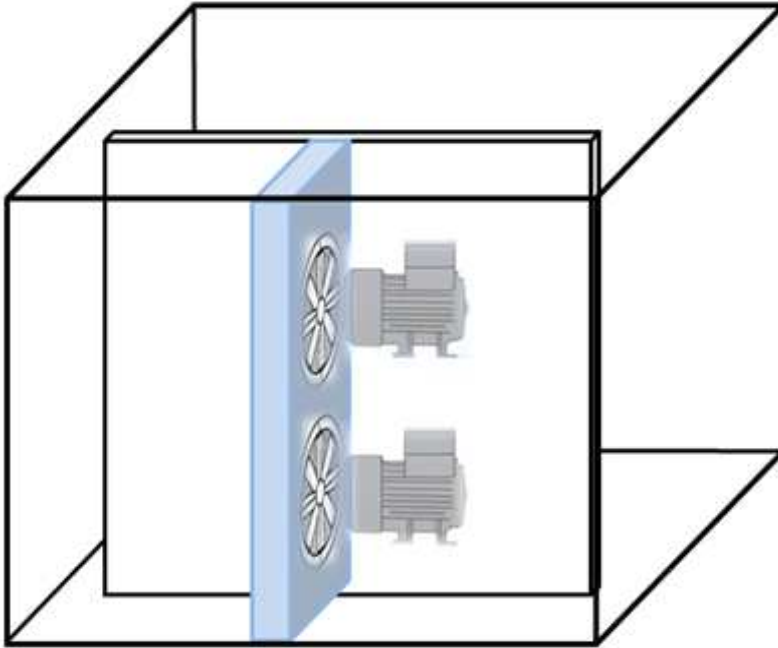
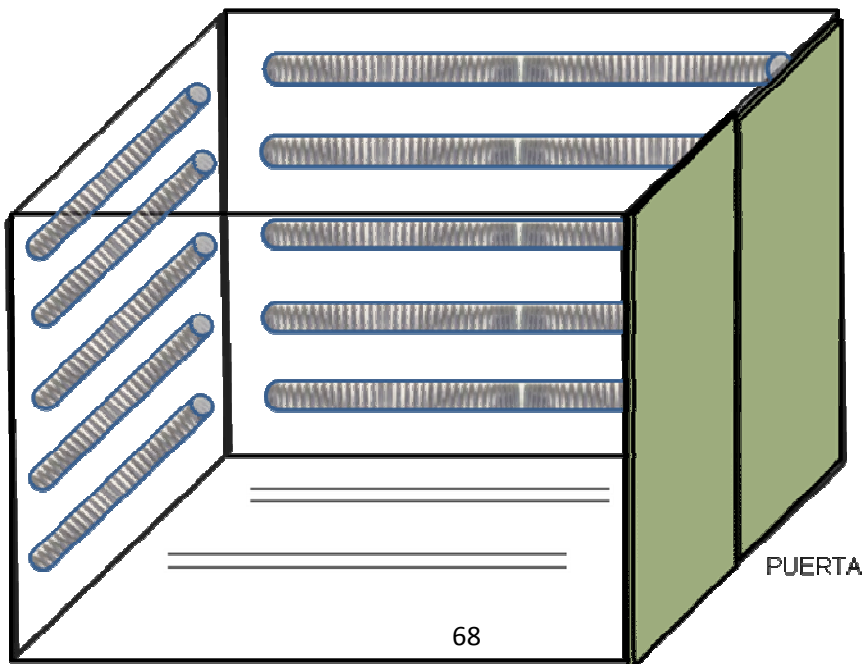


Figura 8. Disposición de las resistencias en las paredes del horno



3.2.2 Análisis estructural del horno

Primero, definiremos el material del horno, y el porqué del material que se usará, a partir de esto haremos el análisis de la estructura que debe contener.

El material que se escogerá, debido a sus diferentes cualidades es el ladrillo macizo, que es de material arcilloso compuesto de silicato de aluminio llamado caolín, alternado con ladrillo hueco ya sea simple o doble.

El ladrillo se ha escogido por las siguientes razones:

- Alta resistencia mecánica.
- Alta resistencia térmica.
- Impermeabilidad.
- Puede estar sin mantenimiento por largo tiempo.
- Alta densidad.
- Belleza exterior.

La estructura del horno, dependerá puramente de los requisitos de mampostería que estén escritos en el libro de normas de ingeniería civil.

Puerta:

La puerta tendrá un motor que la abrirá y la cerrará de tal forma que sea totalmente automático el proceso.

El material de la puerta debe ser de aluminio, recubierto de lana mineral de roca que es un aislante reforzado a ambos lados con dos tipos de mallas, acero galvanizado y acero inoxidable que le sirven de medio de retención.

Son totalmente incombustibles, y por su flexibilidad se ajustan perfectamente a cualquier tipo de geometría por irregular que sea.⁴

Tabla IX. Propiedades del material aislante usado en la puerta

Unidad	Manta aislante
Descripción	Manta aislante de la de roca con malla alambre galvanizado a ambos lados
Densidad	6.25 lbs. /pie ³ 140 Kg/m ³ 8.75 lbs. /pie ³ 140 Kg/m ³
Coefficiente de conductividad térmica	0.41 BTU in / hr pie ² °F a 400 °F de tm
T ^o de servicio	hasta 750 °C en régimen continuo
Encogimiento lineal	menor a 1% a 1200 °F
Absorción de humedad	menor a 1%
Combustibilidad	100% incombustible

3.2.3 Determinar partes críticas del horno

Un elemento crítico en el horno es aquel que afectan de manera directa, el proceso de secado, porque lo retrasa o lo detiene. Recordemos que un retraso en el proceso de secado conlleva a un incremento en los gastos de energía eléctrica y en los gastos por tiempo perdido del personal que labora dentro de la empresa.

⁴ Según norma ASTM C 592-80 MFBI Class II

En este caso hablaremos de las resistencias eléctricas ya que sin ellas o teniendo una defectuosa, afectaríamos principalmente en el tiempo de secado y en el consumo de energía.

De los ventiladores, si no funcionan, pasarán dos cosas, perderíamos energía en las resistencias eléctricas, y tendremos una acumulación de humedad en el ambiente del horno.

Por tal razón en el mantenimiento preventivo, se atenderá con mayor interés estas partes del horno.

3.2.4 Descripción de elementos utilizados

En esta sección recomendaremos los componentes adecuados para el buen funcionamiento del horno.

Resistencias eléctricas

Recordemos que las resistencias van en función de la cantidad de madera que se introducirá al horno, porque estas deben ser lo suficientemente grandes para remover la humedad de la madera. En este caso por el efecto joule procedemos a calcular la cantidad de calor emitida por cada resistencia, además de saber que los motores emiten también una cantidad de calor por su funcionamiento.

Un espacio acondicionado es aquel donde se puede controlar la temperatura de trabajo.

Es por eso que en la siguiente tabla se tabula el valor del calor disipado por el motor y su respectivo ventilador.

Tabla X. Calor disipado por motores eléctricos y su respectivo ventilador.

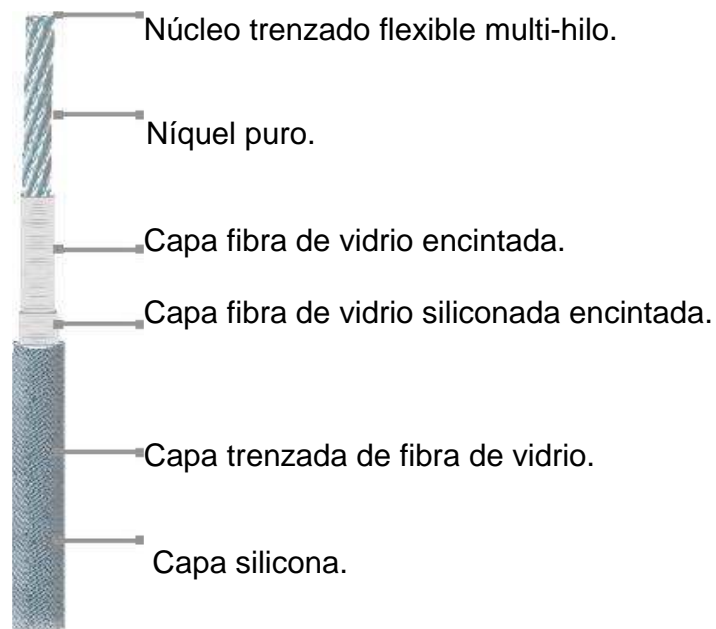
HP DEL MOTOR	MOTOR Y VENTILADOR DENTRO DEL ESPACIO ACONDICIONADO
1/8 a 1/2	4250
1/2 a 3	3700
3 a 20	2950

Fuente: Manual de laboratorio de refrigeración y aire acondicionado, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este dato esta dado en BTU/ Hp-hrs, por ejemplo nosotros emplearemos dos motores de 5.5 Hp asignaremos una carga de calor de 2950 BTU/ Hp-hrs, y este dato hay que sumárselo al calor que producirán las resistencias y esto dará la carga neta calor en el espacio. Que es de aproximadamente 1032557 BTU.

El tipo de resistencia que se utilizará es níquel fibra, a continuación se describe:

Níquel Fibra:





Datos técnicos:

Tabla XI. Datos técnicos de las resistencias níquel fibra

Temperatura de trabajo	-60 +270
Puntas	300
Tensión de empleo	300/500v
Tensión de ensayo	1000v
Temperatura máxima del conductor	600°C
Choques térmicos	Buena
Atmósfera química	Buena
Resistencia a la llama	Óptima
Impermeabilidad	Buena
Color estándar	Blanco
Color liso en trenzado	Cualquiera
Empaque	Bobina 200m

Ventiladores-Motores

Motor

- Siemens de 5,5 HP a 1450 rpm

Características:

- Material Palas: Fundición de Aluminio
- Material Cubo: Aleación de aluminio silicio
- Diámetro exterior: 900 [mm]
- Numero de palas: 8
- Vueltas de giro: 1450 [rpm]

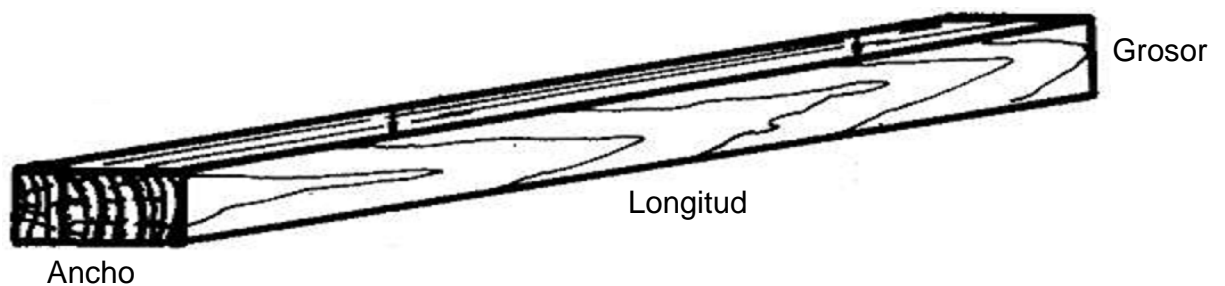
3.3 Definición de las medidas de la madera que se introducirá en el horno

Tablas o tablonés:

Las medidas de madera aserrada para carpintería, ebanistería, etc., son muy variables dependiendo de la pieza que se vaya a fabricar, por lo que es sumamente complejo proponer medidas estándar para este tipo de industrias. En este caso, resulta necesario que el fabricante de madera aserrada se adapte a las necesidades del cliente.

El largo de las piezas de madera aserrada para cualquier uso también es una dimensión muy variable, a la par que fácil de ajustar, tanto en el aserradero como en la industria de destino, con una simple sierra circular, por lo que no se proponen medidas estándar para esta dimensión.

En cualquier caso, las medidas más recomendadas son las compatibles con las dimensiones del horno donde se desee secar la madera, además de la caja del camión en el que se transportarán los paquetes de madera, esto último para minimizar los gastos de transporte.

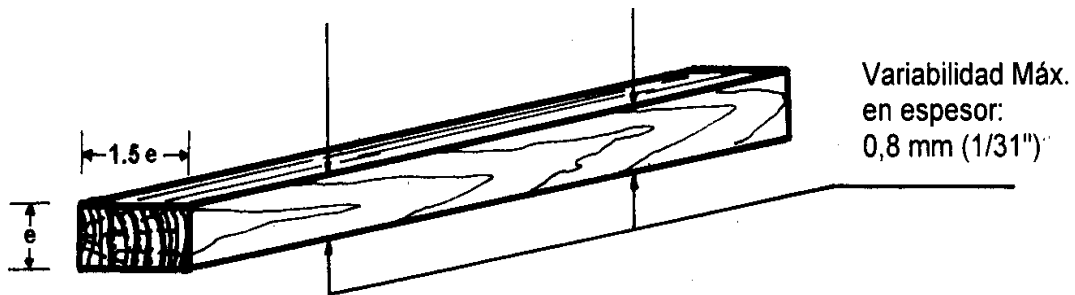


Ancho: Puede estar entre un rango de entre 5 pulgadas y 17 pulgadas

Grosor: Puede estar entre 2.5 pulgadas hasta 17 pulgadas, dependiendo de la aplicación para la que se requiera la madera.

Separadores:

Que tengan el espesor uniforme, entre 16 mm (5/8") y 25 mm (1"), con una variación máxima de 0,8 mm (1/32"), cepillados. Los más gruesos para madera de mayor espesor. El ancho de los separadores será un 50% mayor que el espesor elegido.



Deben estar alineados verticalmente y con una separación entre sí de 60 cm como máximo, en la misma camada.

La primera y la última fila debe estar lo más cerca de los extremos de las tablas.

3.4 Etiquetar pizas del horno

Es muy importante que en cualquier maquinaria, y no solo en las máquinas, sino que también en las plantas de producción por ejemplo se deba de clasificar por áreas, por líneas de producción etc., para tener un mejor control de los componentes con los cuales se cuenta, además que a la hora de tercerizar servicios es mucho más fácil para las empresas que llegan a hacer el trabajo ubicarse dentro de la planta, y el personal interno no pierda mucho tiempo en enseñar el lugar, solamente en dar instrucciones.

En el horno se clasificara de la siguiente forma, todas las partes o repuestos del horno llevarán HSM al principio, ya que esto representará que es del horno secador de madera del que se está hablando.

Sabiendo que lleva el título de HSM, entonces lo clasificaremos de acuerdo con el tipo de repuesto que es:

VENTILADORES HSM-VEN

HSM-VEN-1

RESISTENCIAS HSM-RES
HSM-RES-1
HSM-RES-2
HSM-RES-sucesivamente

3.4.1 Clasificar repuestos

Los repuestos de una máquina se pueden clasificar en base a los diferentes criterios del ingeniero responsable, sin embargo es aconsejable clasificarlo en base al siguiente orden:

- 1.Criticidad: Antes de todo los repuestos deben ser comprados y almacenado en base a lo que estos representan en la funcionalidad de la maquinaria. La disponibilidad ante cualquier acontecimiento debe ser inmediata para que el proceso no sea interrumpido y se pierda tiempo para culminar su ciclo. Los elementos críticos se listaron en el punto 3.2.3
- 2.Periodicidad: El cambio de los repuestos debe ser constante a un tiempo prudente, esto se va obteniendo con la experiencia del manejo de la maquinaria, mas adelante en las rutinas de mantenimiento se hablará de los elementos a cambiar como parte del preventivo.

4. INSTALACIÓN DE LA MÁQUINA

4.1 Forma de instalación

Dentro de la instalación del horno, lo primero que se hace es realizar la obra civil de mampostería, que es colocar el material del que se va a construir el horno, en este caso de ladrillo, hay que dar no más de un metro de separación, entre una y otra columna de hierro, para que sea firme la pared del horno, poniendo ladrillo hueco cuando el hierro deba atravesar la columna de ladrillos, y para el techo, como se funde una terraza normal, con su estructura de hierro y fundida con concreto, son sus respectivas proporciones de cemento y agregado.

4.2 Cálculo de la cimentación de la máquina

Cuando una máquina se va a cimentar se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

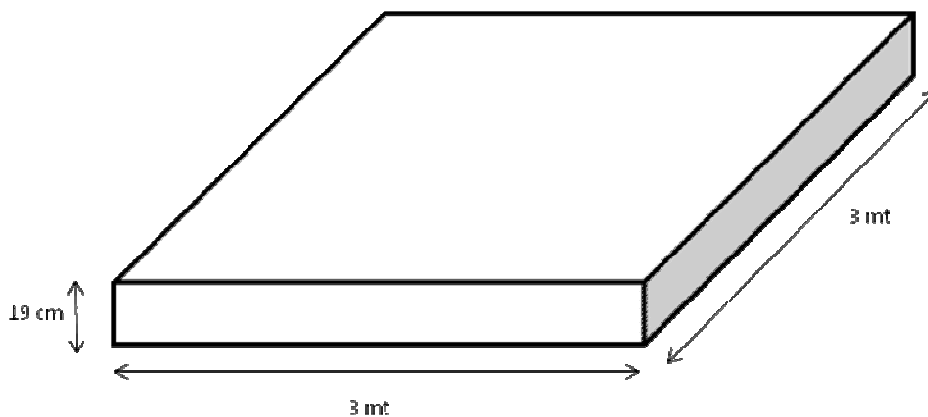
1. Peso de la máquina.
2. Peso del material a trabajar en la máquina.
3. Movimiento de la máquina.

Tomando en cuenta los anteriores factores, vamos a reducir nuestro cálculo, ya que en este tipo de máquinas no hay movimiento, ni lineal ni rotativo.

Ahora, debemos de analizar el peso de la máquina y del material a trabajar dentro de la misma.

La cimentación no debe soportar más que el movimiento lineal del carrito transportador de madera, en el cual se apila la madera y luego es introducida al horno. Dicho carrito no puede desviarse de su trayectoria, debido a que tiene dos canales que guían su movimiento.

Sabiendo que la cimentación de la maquina no requiere de mayores esfuerzos en sus movimientos, más que el del peso cuando está cargado y el de la operación de cargar y descargar el horno, es suficiente una cimentación de 7.5 pulgadas aproximadamente 19 cm.



4.3 Recomendaciones de instalación

En la instalación de este horno, como no son muchos componentes es sencillo lo que hay que tomar en cuenta para el factor de seguridad de los operarios, pero siempre es recomendable:

- Revisar que todos los toma corrientes estén desconectados mientras se hace la instalación de las resistencias, podrían sufrir quemaduras o descargas eléctricas.
- Antes de anclar los motores, revisar que funcionan correctamente.
- Revisar las paletas de los ventiladores para que estos no den problema de calibración o desbalance.
- Revisar las luces del tablero, para que se pueda saber si todas funcionan correctamente,
- Revisar el dispositivo controlador de apertura de la puerta.
- Asegurarse de que las guías del carrito estén bien ancladas para que no den problema al ponerse en operación.
- Calibrar los sensores de humedad, con el fin de que estos tengan una confiabilidad alta y que no sea necesario detener el proceso.
- Revisar la instalación eléctrica del foco que estará fuera del horno, y que su encendido es dentro del horno.

4.4 Posición de material aislante

En este punto es importante regresar al punto 3.2.2 del análisis estructural del horno, en el donde se menciona el material del cual serán las paredes del horno, que es de ladrillo macizo, que tiene muy buenas propiedades aislantes, por lo que no será necesario aplicar un material aislante.

Para las compañías que deseen agregar el material aislante es recomendable utilizar en las paredes internas del horno lana mineral de roca que es un aislante reforzado a ambos lados con dos tipos de mallas, acero galvanizado y acero inoxidable que le sirven de medio de retención, como ya se mencionó en el capítulo anterior.

Son totalmente incombustibles, y por su flexibilidad se ajustan perfectamente a cualquier tipo de geometría por irregular que sea.⁵

Para revisar sus propiedades consultar tabla 9, del capítulo anterior en la página 70.

4.5 Recomendaciones del panel central de control

En el panel central, se debe de controlar los siguientes procesos:

- Abrir y cerrar la puerta principal.
- Temperatura del ambiente.
- Control de humedad de la madera en diferentes posiciones.
- Por medio de LED (*Light Emitting-Diode*, por sus siglas en inglés), que se vea si hay corriente en las resistencias.

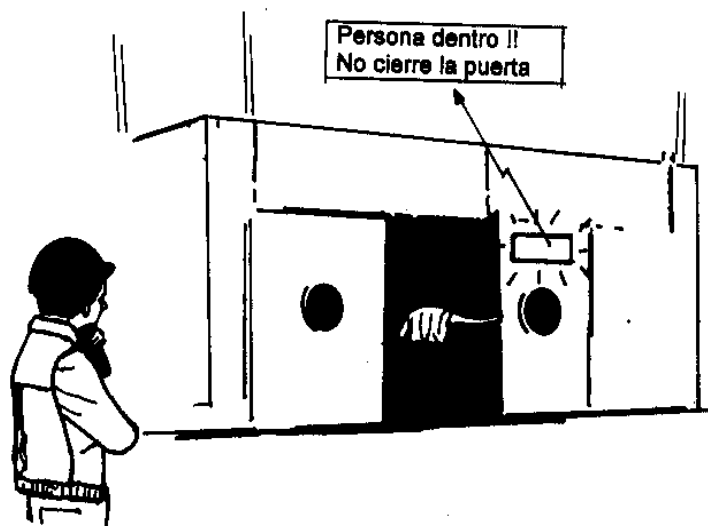
Es necesario que en el panel se controle todo el sistema eléctrico del horno, por lo que es sumamente necesario mantenerlo en buen estado, es decir que:

- No se moje por ningún motivo
- Que se revisen periódicamente los cables de energía provenientes del horno
- Revisar los LED s, cuando se termine un proceso de secado, esto para evitar las pérdidas de energía.
- Asegurarse de poner bien los sensores de humedad, para que sea un dato preciso y confiable.

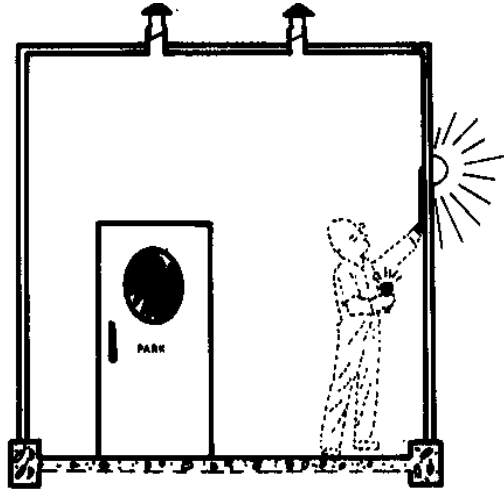
⁵ Según norma ASTM C 592-80 MFBI Class II

4.6 Medidas de seguridad en el horno

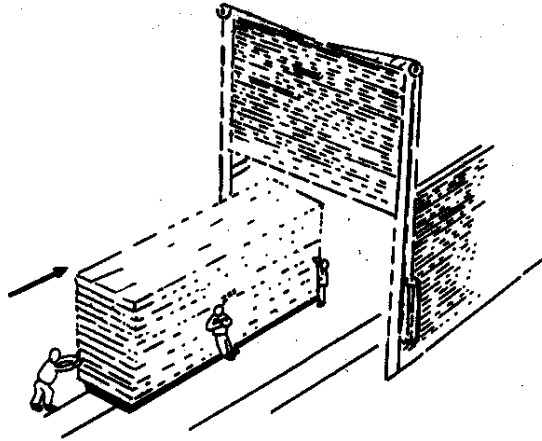
- Antes de ingresar a un horno donde se está secando la madera, desactive los ventiladores y resistencias. Deje enfriar un poco el horno si está operando a elevadas temperaturas, antes de ingresar en él.
- De ser necesario ingresar al horno que tiene en operación los radiadores, vaporizadores y ventiladores, mantenga una persona afuera para que proporcione asistencia inmediata, si es requerida. Si no existe una persona cercana, coloque un letrero en la puerta con la leyenda "Persona dentro, no cierre la puerta".



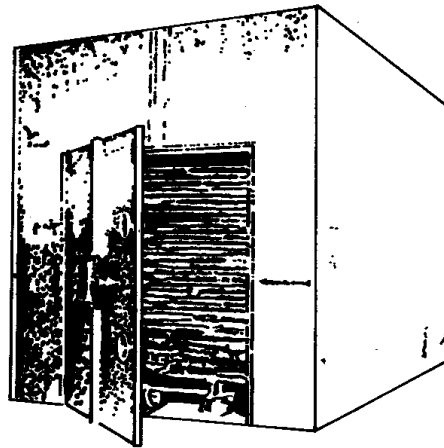
- Nunca ingrese a un horno sin la protección del cuerpo y la cabeza, cuando la TBH es 55 °C o más. No deben ingresar al horno personas afectadas del corazón o de las vías respiratorias.
- Implemente picaportes de las puertas de acceso al horno, que puedan ser operados por dentro y fuera. Repare de inmediato toda falla en los picaportes. Nunca use trancas o palos para mantener una puerta cerrada. Implemente una señal de aviso que pueda ser utilizada si una persona está accidentalmente encerrada.



- Opere con cuidado la apertura y cierre de los portones del horno. Si son muy pesados emplee dos o más hombres para abrirlos.
- Apague los ventiladores cuando los esté lubricando o inspeccionando. Coloque el interruptor en OFF y un letrero que diga "No operar los ventiladores, persona inspeccionando".
- Tener cuidado al caminar en el piso cercano a los ventiladores por el derrame de aceite que puede ocasionar resbalones.
- Tenga expeditas las vías de acceso a los ventiladores.
- Mantenga el horno y sus alrededores libre de escombros que puedan originar tropiezos.
- Siempre lleve consigo una linterna cuando ingresa a un horno. Constate que la linterna funcione correctamente. Nunca emplee cerillos o encendedor de llama.
- Cuando la carga se está empujando hacia adentro o afuera del horno, las personas deben pisar firmemente para evitar resbalones y ser apretadas por la carga.



- Tenga cerca un extinguidor de fuego en buenas condiciones de funcionamiento.
- Mantenga los circuitos eléctricos en buenas condiciones.
- Mantenga todas las partes móviles bien lubricadas.
- Instale un sistema de rociado de agua en el horno, para apagar incendios



5. PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA

5.1 Definición de los diferentes planes de mantenimiento

Mantenimiento:

De mantenimiento podríamos hablar mucho, pero ahora solo lo definiremos como la función empresarial que por medio de sus actividades de control, reparación y revisión, permite garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de las instalaciones".⁶

Simplificando y resumiendo podríamos decir que el mantenimiento hoy en día es "Asegurar que todo activo físico, continúe desempeñando las funciones deseadas".

Dada esta definición debemos plantear el objetivo de mantenimiento como algo medible, cuantificable, que exprese lo dicho en ella, dicho objetivo lo enunciaremos así: "Asegurar la eficiencia y eficacia del horno, por medio de la disponibilidad y confiabilidad, cumpliendo con todas las normas de seguridad y medio ambiente, al menor costo o máximo beneficio global".

Clasificación de las tareas de mantenimiento

Según su objetivo, las tareas de mantenimiento se pueden clasificar en las tres siguientes categorías:

1) Mantenimiento correctivo,

⁶ Grimaldi-Simonds. La Seguridad Industrial Su Administración. Alfaomoga México 1985.

2) Mantenimiento preventivo,

3) Mantenimiento predictivo.

A continuación se hace un breve examen de cada una.

Mantenimiento correctivo

Las tareas de mantenimiento correctivo son las tareas que se realizan con intención de recuperar la funcionalidad del elemento o sistema, tras la pérdida de su capacidad para realizar la función o las prestaciones que se requieren. Una tarea de mantenimiento correctivo típica consta de las siguientes actividades:

- Detección del fallo.
- Localización del fallo.
- Desmontaje.
- Recuperación o sustitución.
- Montaje.
- Pruebas.
- Verificación.

Tareas de mantenimiento preventivo

La tarea de mantenimiento preventivo es una tarea que se realiza para reducir la probabilidad de fallo del elemento o sistema, o para maximizar el beneficio operativo. Una tarea de mantenimiento preventivo típica consta de las siguientes actividades de mantenimiento:

- Desmontaje.
- Recuperación o sustitución.
- Montaje.

- Pruebas.
- Verificación.

Las tareas de mantenimiento de este tipo se realizan antes de que tenga lugar una falla en el funcionamiento del equipo, con el objetivo principal de reducir:

- El coste de mantenimiento.
- La probabilidad de fallo.

Las tareas de mantenimiento preventivo más comunes son sustituciones, renovaciones, revisiones generales, etc. Es necesario recalcar que estas tareas se realizan, a intervalos fijos, como por ejemplo, cada 8 días, cada mes, cada bimestre, trimestre, semestre o cada año.

Tareas de mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una maquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

Claro está que esto se hace solo en base a la experiencia y al desempeño de cada equipo. Para tales efectos de estudio se apoya de la tecnología de punta que existe para este fin, tal como es:

Análisis de vibraciones.

El interés de de las vibraciones mecánicas llega al mantenimiento industrial de la mano del mantenimiento preventivo y predictivo, con el interés de alerta que significa un elemento vibrante en una máquina, y la necesaria prevención de las fallas que traen las vibraciones a medio plazo.

Análisis de lubricantes.

Estos se ejecutan dependiendo de la necesidad, según:

Análisis iniciales: se realizan a productos de aquellos equipos que presenten dudas provenientes de los resultados del estudio de lubricación y permiten correcciones en la selección del producto, motivadas a cambios en condiciones de operación.

Análisis rutinarios: aplican para equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los análisis la determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación entre otros.

Análisis de emergencia: se efectúan para detectar cualquier anomalía en el equipo y/o lubricante, según:

- Contaminación con agua
- Sólidos (filtros y sellos defectuosos).
- Uso de un producto inadecuado

Análisis por ultrasonido.

Este método estudia las ondas de sonido de baja frecuencia producidas por los equipos que no son perceptibles por el oído humano.

Termografía.

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

Ultrasonido pasivo: Es producido por mecanismos rotantes, fugas de fluido,

pérdidas de vacío, y arcos eléctricos. Pudiéndose detectarlo mediante la tecnología apropiada.

5.2 Definir las rutinas de mantenimiento preventivo

Las rutinas de mantenimiento preventivo dependen mucho del ingeniero a cargo pero se pueden sugerir en tres importantes áreas las cuales vamos a desglosar a continuación:

Eléctrico:

- Revisar el estado de las resistencias por medio de un voltímetro para ver si tienen aun el valor inicial que se colocó, si no reemplazarlas por resistencias nuevas, la frecuencia con la que se debe realizar esta actividad es de por lo menos una vez al mes.
- Verificar que todas las señales llegan al panel de control, si enciende los LED s, por lo menos una vez al mes.
- Hacer revisiones por cada vez que termina un ciclo de secado, los motores de los ventiladores.

Lubricación:

- Lubricar los acoples entre los ventiladores y los motores, por cada, ciclo de secado terminado.
- Lubricar adecuadamente los motores, en base a lo que su catalogo o recomendaciones del fabricante.

Mecánico:

- Balancear los ventiladores, para que no giren excéntricamente y no produzcan vibraciones.

- Revisar el material aislante de la puerta.
- Revisar el estado físico del ladrillo.

5.3 Recomendaciones y rutinas de mantenimiento predictivo

Como se mencionó en el punto 5.1, el mantenimiento predictivo, por medio del estudio del comportamiento de los componentes, trata de predecir o anticiparse a las fallas de los mismos y así reducir tiempos en detectar fallas, que es el mantenimiento correctivo, y tener menos tiempo detenido el proceso de secado en el horno.

Como en este horno no son muchos los componentes se puede invertir el predictivo para:

Análisis de vibraciones: un análisis de vibraciones en los motores y en los ventiladores, ya que este nos brindará la vibración que este produce, con la frecuencia y la longitud de onda, que sabiéndolo interpretar dirá que el ventilador se encuentra desbalanceado, y produciendo vibración que dañara el motor en el peor de los casos, en el análisis de vibraciones podemos encontrar diferentes tipos de vibraciones tales como: Vibración debida al Desequilibrado (maquinaria rotativa). Vibración debida a la Falta de Alineamiento (maquinaria rotativa) Vibración debida a la Excentricidad (maquinaria rotativa). Vibración debida a la Falla de Rodamientos y cojinetes. Vibración debida a problemas de engranajes y correas de Transmisión (holguras, falta de lubricación, roces, etc.). También detectará el estado en el que se encuentra el rotor y el estator.

Cámaras termográficas: el uso de estas seria solo para verificar el estado del material aislante puesto en la puerta del horno, y aprovechando, se evaluará el

estado del ladrillo, si es mucho calor el que se está desperdiciando, se aconseja un cambio inmediato de material aislante y/o de ladrillo.

5.4 Recomendaciones de cambio de piezas importantes y su periodicidad

Es muy importante tener bien controlados los cambios de las piezas, ya que si no en la bodega se acumulará un amplio stock de repuestos que al final resultará algo inútil, ya que se tendrá mucho dinero durmiendo.

Los repuestos críticos son los que hay que tener en bodega, ya que sin estos el horno no podría trabajar, los cuales se enlistarán a continuación.

- Motores
- Ventiladores
- Resistencias

En estos tres repuestos se basa la criticidad del horno, lo que se aconseja guardar en bodega es por lo menos

- 1 Motor
- 1 Ventilador
- Resistencias de níquel fibra

El cambio de las piezas debe ser periódico, pero la frecuencia con la que se debe de hacer depende directamente del uso que se le dé al horno, porque dependiendo del uso que se le dé, será el desgaste que tengan los componentes del horno.

Así pues queda descrito, que el cambio de piezas depende de la evaluación previa que se le dé a los componentes. Respecto a los motores, se debe evaluar si con rebobinarlos, es posible ponerlos en marcha de nuevo, o para dejarlos en bodega por cualquier eventualidad.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó un horno secador deshumidificador para madera, que cumple con los requerimientos de humedad específicos para cada tipo de madera expuesta. De tal forma que el tiempo de secado sea el más corto.
2. El proceso de secado de la madera se realizó mediante cinco etapas: elevar la temperatura para homogenizar la carga en el horno; elevar la temperatura hasta evaporar el agua libre; eliminar el agua de saturación; equilibrar la madera con el ambiente dejando de suministrar calor al horno; y por último equilibrar la madera con el ambiente, fuera del horno para que no sufra defectos.
3. Se hace referencia a un plan de seguridad, ya que en el horno la temperatura es alta, los operarios deben atender la normas cuidadosamente.
4. Las rutinas de mantenimiento preventivo son en su mayoría de tipo eléctricas, por ejemplo, verificar el estado en que se encuentran las resistencias en el horno, además de hacer las mediciones necesarias.

Los motores de los ventiladores se deben tener controlados. Las labores mecánicas son: ver el estado del material aislante, la velocidad de los ventiladores, sus excentricidades y el balanceo, para evitar vibraciones.

5. Las maderas que se usan como modelo en este trabajo de graduación son muy ricas, tanto en propiedades como en el uso que se les dé, tal es el caso del cedro o de la caoba, que son maderas preciosas y además sus propiedades son excelentes en cuanto a resistencia mecánica. En Guatemala se cuenta con una gran variedad de maderas preciosas que pueden ser explotadas, de manera responsable, pero muchas no se saben administrar.

RECOMENDACIONES

1. Es importante para la industria guatemalteca contar con este tipo de hornos, pero se debe de adecuar a cada uno de los factores climatológicos, geográficos y económicos con los que se cuenta para la creación del mismo, en las diferentes regiones de Guatemala.
2. El mecanismo de apertura y cierre de la puerta puede ser automático o manual, Por seguridad se recomienda que éste sea automático.
3. Es necesario seguir las medidas de seguridad que se proponen para el horno, y así evitar severas quemaduras o golpes. Antes de poner a funcionar el horno, se debe de capacitar al personal y darle a conocer las medidas de seguridad.
4. La necesidad de explotar los bosques en Guatemala es grande, pero mucha gente desconoce la riqueza con la que contamos, por lo que es necesario hacer campañas que promuevan la venta de estas maderas preciosas, con responsabilidad y compromiso a la reforestación inmediata.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI, American Concrete Institute.
2. Asturias Zúñiga, Luis, (2006). Guía práctica del laboratorio de refrigeración y aire acondicionado, USAC, Guatemala.
3. Bittel, L. /Ramsey, J. (1992). Enciclopedia del MANAGEMENT. Ediciones Centrum Técnicas y Científicas. Barcelona, España.
4. D. Keith Denton. Seguridad Industrial. Mc Graw-Hill. 1984. México.
5. Faye C., McQuiston, Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño. Limusa. México 2003.
6. Grimaldi-Simonds. La Seguridad Industrial Su Administración. Alfaomega México 1985.
7. Manual de Mantenimiento de Instalaciones Industriales.
8. Rosaler, Robert C. (2002). Manual del Ingeniero de Planta. Mac-Graw-Hill/Interamericana de Editores, S.A. de C.V.
9. W.H. Severns, H.E. Degler, J.C. Miles, Energía mediante vapor, aire o gas, Reverté S.A., Mexico 1992

10. www.ingenieirapl.com.ar
11. www.irena.es (Ingeniería de los recursos naturales)
12. www.mantenimientomundial.com
13. www.okstate.edu/OSU_Ag/honduras/Papers/ESNACIFOR_Campus/esnacifor_campus.html
14. www.petexbatun.com
15. www.siemens.com
16. www.solomantenimiento.com

ANEXOS

Tabla I. Propiedades físicas del danto

Propiedades Físicas	Valor	Clasificación
Peso específico verde (gr. /cm.3)	1.2	
Peso específico seco al aire (gr. /cm.3)		
Peso específico anhidro (gr. /cm.3)		
Peso específico básico (gr. / cm.3)	0.64	
Contracción volumétrica total (%)	13.10	Muy alta
Contracción tangencial total (%)	8.10	Muy alta
Contracción radial total (%)	4.60	Alta
Relación: Contracción tangencial total	1.76	Alta
Contracción radial total		

Fuente: ESNACIFOR, 1988.

Tabla II. Propiedades físicas caoba

Propiedades Físicas	Valor	Clasificación
Peso específico verde (gr./ cm ³)	0.60	
Peso específico seco al aire (gr./ cm ³)	-	-
Peso específico anhidro (gr./ cm ³)	0.50 - 0.52	Mediano
Peso específico básico (gr. / cm ³)	0.45 – 0.46	Moderadamente pesada
Contracción volumétrica total (%)	7.80 - 8.40	Baja
Contracción tangencial total (%)	4.11	Baja
Contracción radial total (%)	3.00	Baja
Relación: Contracción tangencial total	1.10 - 1.40	Favorable (Baja)
Contracción radial total		

Fuente: IRENA, 1992, ESNACIFOR, 1988 & Herrera, 1996.

Tabla III. Propiedades mecánicas caoba.

Propiedades Mecánicas (contenido de humedad 12%)		Valor	Clasificación
Flexión estática	Módulo de Rotura (kg/cm ²)	842	Algo mediana
	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	100,000 - 106,000	Algo mediana
Compresión	Paralela a la fibra Resistencia máxima (kg/cm ²)	491	Baja
	Perpendicular a la fibra Límite proporcional (kg/cm ²)	67	Baja
Cizalladura	Resistencia máxima Plano radial (kg/cm ²)	89 - 456	Algo mediana
Dureza Janka	Resistencia lateral (kg/cm ²)	364 - 388	Algo mediana
	Resistencia en los extremos (kg/cm ²)	483	Algo mediana
Extracción de clavos	Resistencia lateral (kg)	-	-
	Resistencia en los extremos (kg)	-	-

Fuente: ESNACIFOR, 1988 e IRENA, 1992.

Tabla IV. Propiedades físicas del cedro

Propiedades Físicas	Valor	Clasificación
Peso específico verde (gr/cm ³)	0.62	
Peso específico seco al aire (gr/cm ³)	0.39	
Peso específico anhidro (gr/cm ³)	0.36	Bajo
Peso específico básico (gr/cm ³)	0.33	Liviana
Contracción Volumétrica Total (%)	8.10	Bajo
Relación: Contracción tangencial total	1.50	Normal
Contracción radial total		

Fuente: IRENA, 1992.

Tabla V. Propiedades mecánicas del cedro

Propiedades Mecánicas (contenido de humedad 12%)		Valor	Clasificación
Flexión estática	Módulo de Rotura (kg/cm ²)	511	Baja
	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	74,000	Baja
Compresión	Paralela a la fibra Resistencia máxima (kg/cm ²)	404	Muy baja
	Perpendicular a la fibra Límite proporcional (kg/cm ²)	37	Muy baja
Cizalladura	Resistencia máxima Plano radial (kg/cm ²)	57	Muy alta
Dureza Janka	Resistencia lateral (kg/cm ²)	220	Baja

	Resistencia en los extremos (kg/cm ²)	364	Baja
Extracción de clavos	Resistencia lateral (kg)	57	Baja
	Resistencia en los extremos (kg)	42	Muy baja
Impacto	Trabajo de corte (KJ/m ²)	37	

Fuente: IRENA, 1992.

Tabla VI. Propiedades mecánicas

Propiedad mecánica		kg/cm²
Flexión Estática	Módulo de Rotura	122
	Módulo de Elasticidad	56,000
Compresión	Paralela	105
	Perpendicular	14
Cizalladura	Resistencia máxima	18

Estructuralmente se clasifica en el grupo "C" (IRENA, 1992).

Tabla VII. Clasificación de la madera en base a su contenido de humedad

Denominación de estado de la madera	nivel de humedad	lugar de ubicación
Madera verde	de 80 a +200%	bajo cubierta en el bosque
Madera húmeda	25 a 80%	recién cortada
Madera poca seca	de 20 a 25%	aire libre
Madera seca al aire	de 15 a 20%	bajo techo
Madera muy seca	de 8 a 15%	Interiores
Madera anhidra	0 %	Laboratorio

Tabla VIII. Porcentaje de humedad de acuerdo a su aplicación.

* Muebles, carpintería e instalaciones internas en ambientes con calefacción central	9 - 10 %
* Manufactura similar en ambientes calefaccionados con estufas corrientes	10 - 12 %
* Ventanas, puertas exteriores, cortinas, carpintería con un lado en contacto con el exterior	12 - 15 %
* Tirantería, estructura de techos sin contacto exterior, con ambiente calefaccionado	14 - 16 %
* Maderas destinadas a usos al exterior	14 - 17 %
* Encofrados y similares	15 - 18 %
* Parquet:	
- en ambientes con losa radiante	8 - 10 %
- en ambientes con calefacción central	9 - 12 %
- en ambientes sin calefacción	10 - 14 %

Tabla IX. Propiedades del material aislante usado en la puerta

Unidad	Manta aislante
Descripción	Manta aislante de la de roca con malla alambre galvanizado a ambos lados
Densidad	6.25 lbs. /pie ³ 140 Kg/m ³ 8.75 lbs. /pie ³ 140 Kg/m ³
Coefficiente de conductividad térmica	0.41 BTU in / hr pie ² °F a 400 °F de tm
T ^o de servicio	hasta 750 °C en régimen continuo

Encogimiento lineal	menor a 1% a 1200 °F
Absorción de humedad	menor a 1%
Combustibilidad	100% incombustible

Tabla X. Calor disipado por motores eléctricos y su respectivo ventilador

HP DEL MOTOR	MOTOR Y VENTILADOR DENTRO DEL ESPACIO ACONDICIONADO
1/8 a 1/2	4250
1/2 a 3	3700
3 a 20	2950

Tabla XI. Datos técnicos de las resistencias níquel fibra.

Temperatura de trabajo	-60 +270
Puntas	300
Tensión de empleo	300/500v
Tensión de ensayo	1000v
Temperatura máxima del conductor	600°C
Choques térmicos	Buena
Atmósfera química	Buena
Resistencia a la llama	Óptima
Impermeabilidad	Buena
Color estándar	Blanco
Color liso en trenzado	Cualquiera
Empaque	Bobina 200m