



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERIA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

**Diagnóstico del proceso de secado en estufa de la empresa Silvicultores
Guesthers de México S. A. de C. V.**

Tesina

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

Ingeniero en Tecnología de la Madera

P R E S E N T A:

LEVID SÁNCHEZ SOTO

ASESOR: MC. MARCO HERRERA FERREYRA

Morelia, Mich. Agosto, 2019

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	1
RESUMEN.....	2
1. INTRODUCCION	4
2. ANTECEDENTES.....	6
3. MARCO TEORICO	7
4. OBJETIVOS.....	27
OBJETIVO GENERAL.....	27
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN ESTUFA EN LA EMPRESA SILVICULTORES	
GUESTHERS DE MÉXICO A.C	28
5.1 SELECCIÓN Y APILADO DE LA MADERA.....	28
5.2 PROBETAS PARA EL CONTROL DE SECADO EN HORNOS	32
5.3 ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE LA SECUELA	33
5.4 REVISIÓN DEL EQUIPO.....	36
5.5 PERIODO DE CALENTAMIENTO.....	36
5.6ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO	37
6.- DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE SECADO EN ESTUFA EN LA EMPRESA SILVICULTORES	
GUESTHERS DE MÉXICO S.A. DE C.V.	39
6.1 SELECCIÓN Y APILADO DE LA MADERA	39
6.2 MUESTRAS PARA EL SECADO DE MADERA EN HORNOS.....	40
6.3 RESULTADO DE LAS PRUEBAS DE Tenedor PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SECADO.....	40
6.4SELECCIÓN DE SECUELA	41
6.5 INICIO DEL SECADO.....	41
6.6 PERIODO DE CALENTAMIENTO.....	42
6.7 ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO.....	42
7.- RESULTADOS	44
8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
9. - BIBLIOGRAFÍA.....	49
10. ANEXOS.....	51



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de la madera para su secado de acuerdo al espesor, la pila de la derecha muestra ser de un espesor más pequeño que el de la pila de la izquierda (Viscarra, 1998)	9
Figura 2. Separador con las condiciones apropiadas para apilar (Viscarra, 1998)	10
Figura 3. Arpilla adecuada antes de meterla a la cámara (Hoheisel y col., 1989 citado por: Viscarra, 1998).	11
Figura 4. Acomodo de las arpillas dentro de la cámara de secado (Viscarra, 1998).	11
Figura 5. Selección de probetas y estudio de CH (Viscarra,1998).	12
Figura 6. Obtención de las muestras, (Viscarra, 1998).	13
Figura 7. control de secado, muestras de tenedor (JUNAC, 1989).....	13
Figura 8. Indicación para la toma de muestra para la prueba de tenedor, contenido de humedad y gradiente de humedad (JUNAC, 1989).....	14
Figura 9. Condiciones de esfuerzo durante el secado de la madera que conduce al defecto de endurecimiento (Manual del Grupo andino para el Secado de la Madera).....	15
Figura 10. Resistencia de la madera al secarse (JUNAC, 1989)	16
Figura 11. Esquema de los principales tipos de nudos en la madera: (A) nudo fijo, (B) y (C) nudo flojo, (D) nudo en forma de perno, (E) nudo en forma de perno mostrando la porción fija y la floja (Echenique y Robles, 1993).....	17
Figura 12. Corte radial de un PINO afectado por la mancha azul.	17
Figura 13. Rajaduras y grietas en la madera. Rajaduras en el extremo de varias piezas de madera aserrada (A). Grietas en una tabla de madera aserrada (B)	17
Figura 14. colapso en el secado de COIGUE (Nothofagusdombeyi) (según RESSEI y WELLING R.F.A)	18
Figura 15. Condición de esfuerzo durante el secado de la madera que conduce al defecto de endurecimiento	19
Figura 16. Defecto de agrietamiento interno en madera de ROBLE (KOLLMANN 1968, príncipes of Wood science and technology)	19
Figura 17. Representación de torcedura	20



Figura 18. Clasificación por grosor de la madera a estufar. 28

Figura 19. Estufas de secado de la empresa con una capacidad máxima de 50,000 pies cada una. 29

Figura 20. Arpilla con sus respectivas fajillas. 30

Figura 21. Carga de madera preparada con sobrepesos en la parte superior de cada paquete..... 30

Figura 22. Introducción de la carga por medio de carritos empujados por el montacargas para facilitar el llenado de la estufa. 31

Figura 23. Estufa totalmente cargada antes de iniciar el secado 32

Figura 24. Uso de desviadores de aire dentro de la estufa 32

Figura 25. Secuela adoptada para secar madera de pino con espesores de $\frac{3}{4}$ ". . 33

Figura 26. "secuela modificada" empleada por la empresa a lo largo del tiempo y personal en turno 34

Figura 27. Secuelas en base al espesor de la madera, en esta figura muestra para espesores de $\frac{6}{4}$ " misma para $\frac{5}{4}$ "..... 34

Figura 28. Secuela "madera de recuperación" elaborada por la empresa para utilizarla con finger join..... 35

Figura 29. secuela con modificaciones empleada en las estufas de la empresa no solo si cambia la especie incluso también si llega a presentar fallas la misma estufa. 35

Figura 30. Probeta de tenedor elaborada con madera de pino, presentando un poco de endurecimiento. 40

Ilustración 31. Probeta elaborada en una tabla de madera de $\frac{3}{4}$, la cual presenta endurecimiento..... 40



RESUMEN

Cuando el árbol se corta y se convierte en madera aserrada, la madera inmediatamente empieza a perder su humedad. Un aspecto importante del proceso de elaboración de madera aserrada, es el de controlar y acelerar el secado de la madera verde para someterse a tratamiento industrial.

La industria maderera de silvicultores Guesthers de México, ubicada en el municipio Aguililla, Michoacán, es una de las más importantes del país contando con extensas áreas de reforestación y silvicultura para mantener la especie, la que posteriormente es procesada. Se analizó el procedimiento práctico del secado en estufa utilizado en la empresa, comparándolo con datos bibliográficos, desde las etapas de selección, arpillado hasta las etapas finales marcadas en el programa de secado, obteniendo mejor calidad del secado, disminución en el gasto de biomasa, el ahorro de energía, tiempo y dinero.

Palabras clave: humedad, calidad, secado, estufa, industria.

ABSTRACT

When the tree is cut and turned into sawn wood, the wood immediately begins to lose its moisture. An important aspect of the process of making sawn wood, is to control and accelerate the drying of green wood to undergo industrial treatment.

The Guesthers forestry industry in Mexico, located in the municipality Aguililla, Michoacán, is one of the most important in the country with extensive areas of reforestation and forestry to maintain the species, which is subsequently processed. The practical procedure of drying in an oven used in the company was analyzed, comparing it with bibliographic data, from the stages of selection, brushing up to the final stages marked in the drying program, obtaining better drying quality, decrease in biomass expenditure, Saving energy, time and money.

Keywords: humidity, quality, drying, stove, industry.



1. INTRODUCCION

El árbol, como todo ser vivo necesita del agua para transportar internamente los nutrientes para poder sobrevivir. La capacidad de retención de humedad varía de una especie a otra; dicha cantidad de agua se relaciona con el valor de densidad básica de cada especie, sin embargo, gran porcentaje de esa humedad interna en la madera, en la mayoría de casos no es deseable en los procesos de industrialización, por ello se debe aplicar algún método de secado y disminuir su contenido de humedad a niveles óptimos para su procesamiento (Muñoz, 2008).

El secado de la madera aserrada es un proceso técnico que implica la aplicación y la interrelación de conocimientos científicos de anatomía de la madera, de física y de termodinámica (Cruz, 2006).

Al ser la madera un aislante térmico muy eficaz, lo que no ocurre con el agua, la duración del calentamiento de la cámara depende principalmente de la humedad inicial de la madera. Aunque la duración del proceso también depende de su densidad (Fernández- Seco, 1998).

Los elementos que intervienen en un secado son la humedad relativa del aire, la temperatura del aire y la circulación del aire a través de la superficie de la madera (Walker, 1993, citado por Cruz, 2006).

En la comercialización de maderas, principalmente a nivel internacional, el primer requisito que se establece es que ésta esté seca y es el fundamento para el control de su calidad (Cruz, 2006).

Gómez y Ramírez (2006), argumentan que el contenido de humedad de la madera es uno de los parámetros más importantes a considerar en el control de calidad, ya que esto permite cumplir con los requerimientos de uso. Además de que es



importante estudiar y analizar la variable “contenido de humedad final” a fin de reducir costos por incumplimiento de calidad.

Un programa de secado se establece de acuerdo con la especie, espesor y uso final de la madera; en este proceso se considera la relación entre el balance de calor transferido por el flujo de aire a la superficie del material y del transporte de agua del centro a la superficie del mismo. El movimiento del agua a través de la madera dependerá de las propiedades físicas del material y la velocidad del secado, la cual es controlada por las condiciones externas (temperaturas, velocidad de aire, humedad relativa); en la fase higroscópica, la velocidad de secado es controlada por la resistencia interna; en la tercera fase el contenido de humedad de la madera se uniformiza hasta alcanzar el equilibrio (Kollman y Cote, 1968; Rosen, 1983; Jankowsky, 1995).

En un secado al horno, la madera es colocada dentro de una cámara en la cual se generan condiciones ambientales artificiales del flujo de aire, temperatura y humedad que son controladas para proporcionar un secado tan rápido como pueda ser tolerado por la madera sin causar defectos mayores (NyleSimtems, 2012).

En el presente trabajo, se analiza el proceso de secado de madera de pino en estufa que se lleva a cabo en la empresa Silvicultores Guesthers de México, ubicada en Carretera Apatzingán-Aguililla S/N. Km. 74.5 Col. La Paz en el Estado de Michoacán, una de las más importantes y representativas de la industria de transformación de la madera en el Estado, con el objetivo de proponer mejoras al mismo.



2. ANTECEDENTES

La calidad del secado puede estar, en algunos casos, influenciada por algunas de las características que definen en general la calidad de la madera, pero que se pueden originar por el proceso de secado como son: contenido de humedad final; variación del CH (contenido de humedad) tanto dentro de cada tabla como dentro de la pila; tensiones de secado; grietas superficiales, internas y de testa; colapso; diferentes tipos de deformaciones y cambios de color o manchas (Álvarez y Fernández, 1992).

Un proceso de suma importancia en la industria de la madera, es el secado natural (al aire) o artificial (hornos) de la madera aserrada. Para ejecutar un secado a nivel industrial se utilizan hornos, donde se pretende: eliminar un porcentaje de la humedad interna de la madera, minimizando defectos que se puedan producir, invirtiendo el menor tiempo posible y consumiendo la menor cantidad de energía, logrando así una optimización del proceso y obteniendo materia prima apta para posteriores procesos secundarios (Muñoz, 2008).

El secado en estufa convencional, generalmente se controla a través de programas de secado o secuelas. De los trabajos realizados en México con relación al secado en estufa, se encuentran las secuelas desarrolladas por el antiguo Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF), las cuales han dado buenos resultados en cuanto a la calidad del secado. Para la madera aserrada de pino de 4/4", la secuela más adecuada es la T13-F5.



3. MARCO TEORICO

La Empresa Silvicultores Guesthers de México S.A de C.V surgió en los años 50, es una empresa familiar que ha sido manejada de generación en generación por los sucesores del fundador Manuel Gutiérrez.

Desde 1984 cuenta con un sistema de aserrío tecnificado con todos los permisos y reglamentación requeridos por las autoridades, pero que ha llevado más allá el compromiso y la responsabilidad social y ambiental.

Importancia del secado de la madera

La transformación industrial de la madera, ya sea para muebles, ventanas, pisos, lambrines, etc., exige indistintamente la disminución de su contenido de humedad inicial, en niveles que en la mayoría de los casos fluctúan entre un 8 y 12 % de humedad.

La madera recién cortada contiene un gran contenido de humedad. Si el agua no es extraída, la madera no puede ser utilizada para elaborar un producto derivado de buena calidad. Cuando la madera está secada apropiadamente se vende a un precio mayor, reduce el peso y la deformación de la madera, y se mejora su resistencia. Cuando la madera no es secada bajo condiciones controladas es susceptible a fisuras, manchas, grietas, y otras degradaciones que rebajan su precio y su viabilidad de ser trabajada.

La madera es un material higroscópico, esto es, tiene la propiedad de adsorber y/o desorber humedad al medio ambiente que la rodea.

Cuando el proceso de secado así lo requiere, la humedad dentro de la estufa se aumenta por medio de un rociador o "sprea" de agua o de vapor. En las estufas modernas se utilizan rociadores de vapor. La necesidad de introducir humedad a la estufa es mayor a medida que la carga está más seca. Para poder controlar la



humedad relativa, todas las estufas tienen un sistema de ventilas que por lo general se localizan en la parte superior, o sea en el techo de la estufa. Las ventilas o respiraderos pueden operarse en forma manual o automática.

Una estufa puede construirse con puertas en uno o en ambos extremos, según sean las dimensiones y volúmenes de madera que se planeen secar. Cuando el secador tiene puertas en sus dos extremos, las vías casi siempre tienen una ligera inclinación hacia la puerta de descarga para que se facilite mover los carros con las pilas de madera.

El secado artificial en hornos, o estufas es aquel que se lleva a cabo en estufas o cámaras de secado, en este tipo de secado se pueden controlar la temperatura, la humedad relativa y la circulación del aire que están en contacto con la madera (Cruz, 2006).

Proceso de secado

Selección y apilado de madera

Clasificación

Se ordena la madera antes de secarla para hacer más fácil el apilamiento, colocando la madera con características de secado similares en la misma carga de la estufa. La madera se debe ordenar por especie, contenido de humedad, duramen y la albura, madera húmeda, grano, grado, el grosor y longitud, mientras más homogénea sea una carga, mejor será el resultado de secado (Simpson, 1991).

Con la finalidad de llevar a cabo un adecuado arpillado de la madera para su secado, se debe tener en cuenta la clasificación de la madera y armado de arpillas de acuerdo al espesor de las tablas (Figura 1).

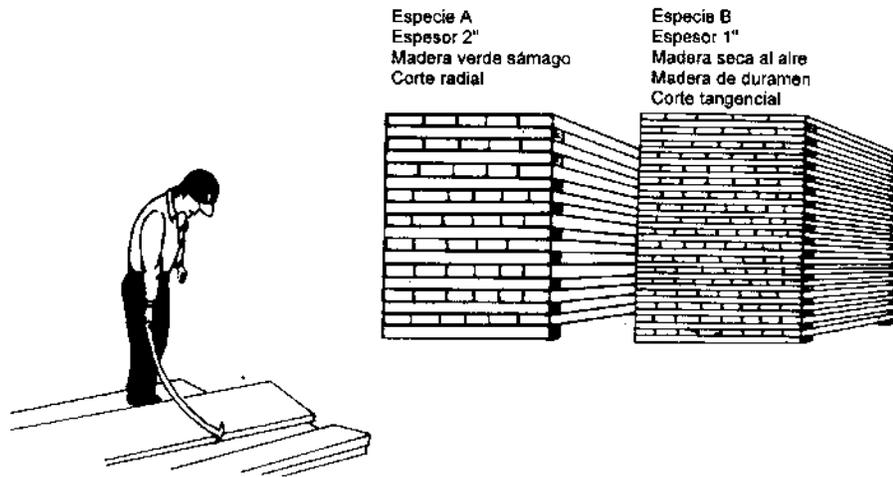


Figura 1. Clasificación de la madera para su secado de acuerdo al espesor, la pila de la derecha muestra ser de un espesor más pequeño que el de la pila de la izquierda (Viscarra, 1998)

Apilado de madera

El apilado se refiere al acomodo que se le da a la madera antes de proceder a secarla, este se hace con ayuda de fajillas también llamadas separadores que tienen por objeto separar las capas de madera a fin de permitir la circulación de aire a través de la pila, en nuestro medio y para el apilado de la madera de pino de una pulgada, las fajillas más recomendables son las de una pulgada de grueso por 2 de ancho. Procediendo al acomodo de la madera, se sienta la primera capa o cama de madera sobre los polines que están en los carritos de los rieles de la estufa, y posteriormente la madera se sigue apilando sobre los separadores que van entre cada capa de tablas. Variando el grueso de los separadores o fajillas varía también la velocidad de secado. Generalmente la separación que más conviene entre fajillas es de 3 a 4 pies.

La correcta disposición de las pilas de madera en el interior de la estufa tiene una gran influencia en la calidad final de la madera.

Una buena y homogénea circulación de aire en el conjunto de la carga es fundamental para que la madera se seque correctamente. Al pasar el aire a través de las pilas de madera se enfría y se carga de humedad, por lo que es necesario mantener su capacidad de secado conforme atraviesa las pilas regulando adecuadamente su velocidad, caudal y distribución. La regulación se efectúa actuando sobre los ventiladores y eligiendo el tamaño adecuado de los separadores (Fernández, 1998).

Los separadores para el apilado de la madera deben tener:

- Un espesor uniforme, entre 16 mm (5/8") y 25mm (1"), con una variación máxima de 0.8 mm (1/32"), y estar cepillados. Los más gruesos para madera de mayor espesor. El ancho de los separadores será un 50% mayor que el espesor elegido.

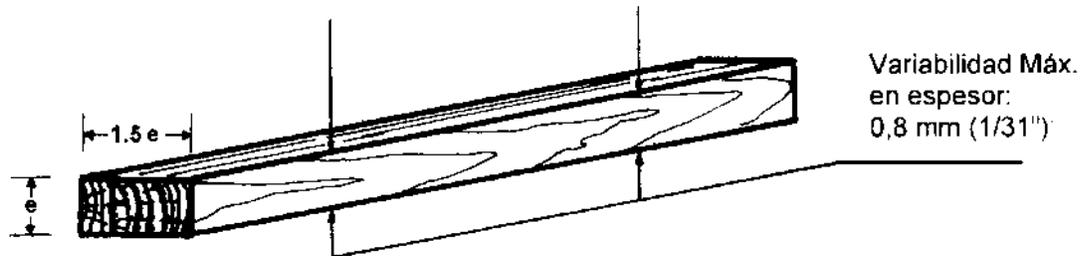


Figura 2. Separador con las condiciones apropiadas para apilar (Viscarra, 1998)

- Para garantizar la circulación del aire entre camas de madera, se emplean separadores de madera (Figura 2), cuya colocación debe cumplir con las siguientes condiciones:
- Deben estar alineados verticalmente y con una separación entre sí de 90 cm como máximo, en la misma cama esto depende del espesor de la madera a secar.

- La primera y la última fila debe estar lo más cerca de los extremos de las tablas. Las tablas a secar deben apilarse cuidando de evitar que sobresalgan los extremos de las tablas apiladas.
- Finalmente colocar contrapesos o tensores para evitar las torceduras de las tablas de las piezas de las camas superiores, con esto queda adecuada la arpilla para ser secada correctamente (figura 3).

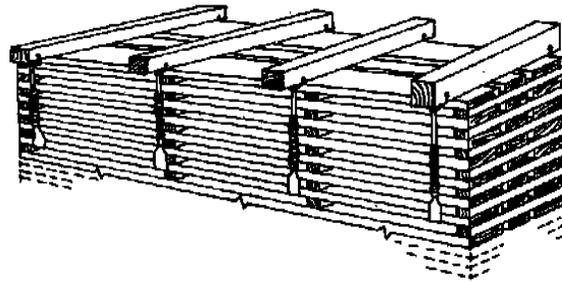
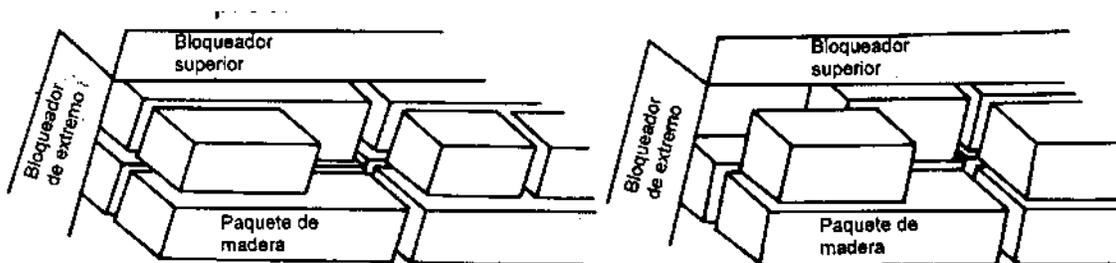


Figura 3. Arpilla adecuada antes de meterla a la cámara (Hoheisel y col., 1989 citado por: Viscarra, 1998).

- Alinear las arpillas dentro del horno (figura 4) y evitar la presencia de cortocircuitos en la circulación del aire. Usar chapas o tablas de desecho como bloqueadores del aire en las partes superiores, inferiores y en extremos de las arpillas (Viscarra, 1998)



Fuente: adaptado del FPL Madison (1996)

Figura 4. Acomodo de las arpillas dentro de la cámara de secado (Viscarra, 1998).

Probetas para el control de secado en hornos

Cuando se utilizan probetas en el horno para controlar un programa de secado, su selección, preparación y uso son importantes en el funcionamiento del horno. Un procedimiento deficiente en el muestreo puede resultar en estimaciones erróneas del contenido de humedad, que pueden aumentar defectos en el secado y en el tiempo del proceso.

Para hacer pleno uso de técnicas y equipos de secado y para asegurar un buen secado en el menor tiempo, cada carga del horno debe consistir en madera con similares características de secado (Simpson, 1991).

Para el adecuado uso de las probetas de control, se debe considerar lo siguiente:

- Selección de las probetas verificando CH (figura 5): tomar un mínimo de 6 muestras, de las cuales la mayoría (4), deben representar la madera húmeda o de difícil secado. El resto de la madera (2), con menor contenido de humedad o de más rápido secado (Viscarra, 1998).

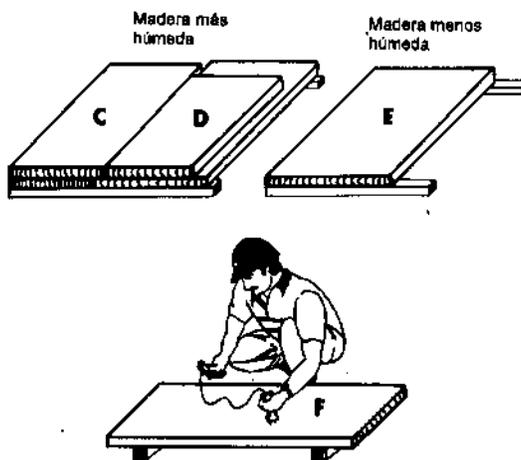


Figura 5. Selección de probetas y estudio de CH (Viscarra, 1998).

- Cortar y pesar: Se corta una o dos muestras de una misma tabla (de acuerdo a las dimensiones de ella) y se obtienen también las probetas para determinación del contenido de humedad, según la (figura 6).

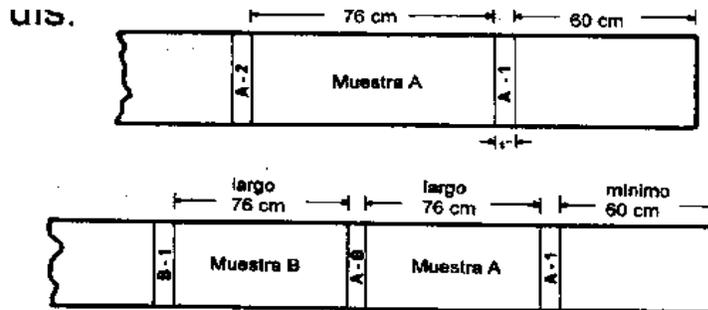


Figura 6. Obtención de las muestras, (Viscarra, 1998).

Pruebas de tenedor para el estudio del secado

El endurecimiento de la madera generalmente está acompañado por agrietamiento superficial, torceduras y encorvaduras y ocurre especialmente cuando se secan maderas muy húmedas y muy densas (JUNAC, 1989).

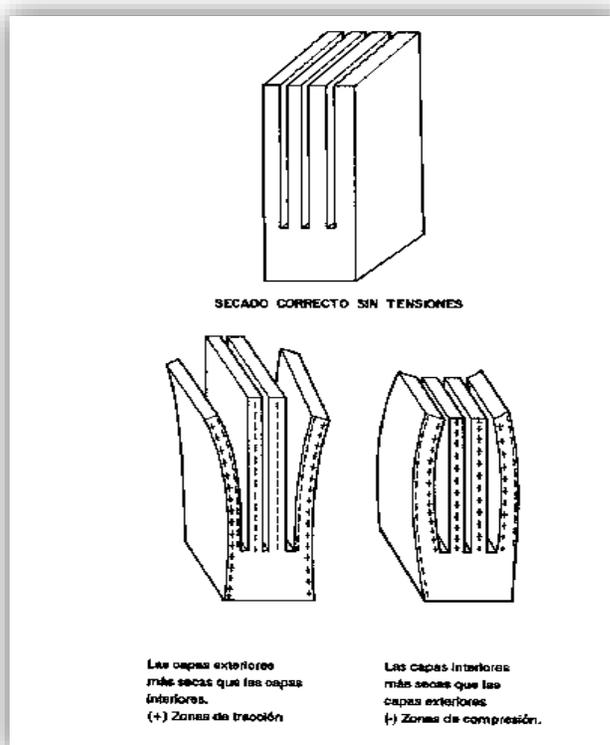


Figura 7. Control de secado, muestras de tenedor (JUNAC, 1989)

Probeta de tenedor.

Es utilizada para determinar la condición de esfuerzo de una pieza de madera en cualquier momento del secado. Las muestras son tomadas de varias partes de una pila de madera y pueden ser usadas para determinaciones del contenido de humedad, así como para análisis de los esfuerzos.

Mediante la prueba del tenedor, el operador de una estufa puede variar el programa de sacado según los cambios en el contenido de humedad y el desarrollo en los esfuerzos, así como también para comprobar la efectividad de los procesos de acondicionamiento utilizados para contrarrestar el endurecimiento (JUNAC, 1989).

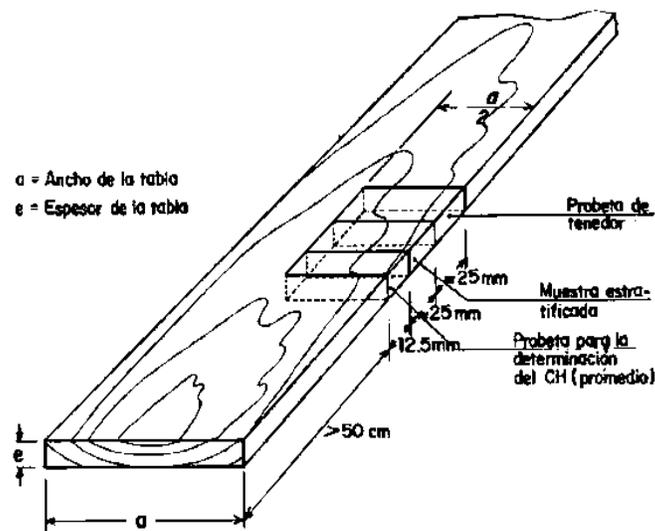


Figura 8. Indicación para la toma de muestra para la prueba de tenedor, contenido de humedad y gradiente de humedad (JUNAC, 1989).

4.9 POSIBLES DEFECTOS EN EL SECADO DE LA MADERA

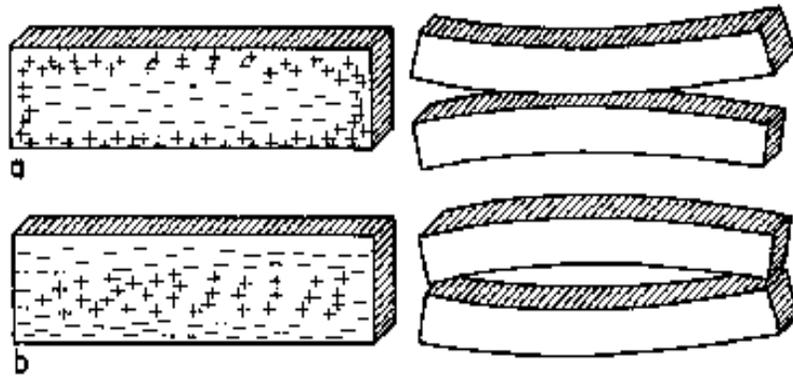


Fig. 2.19 Condición de esfuerzo durante el secado de la madera que conduce al defecto de endurecimiento:

- a = Al principio del secado (tensión en las capas exteriores y compresión en el centro).
- b = Endurecimiento (compresión en las capas exteriores y tensiones en el centro)
- ++++ Tensión
- ==== Compresión

Figura 9. Condiciones de esfuerzo durante el secado de la madera que conduce al defecto de endurecimiento (JUNAC, 1989)

Los defectos en la madera.

Cualquier irregularidad o imperfección que afecte las propiedades físicas, mecánicas y químicas de una pieza de madera se le considera como un defecto. Estos defectos hacen que se reduzca el volumen utilizable de la madera, la durabilidad, la resistencia o el valor estético (Chan et. al. 2002).

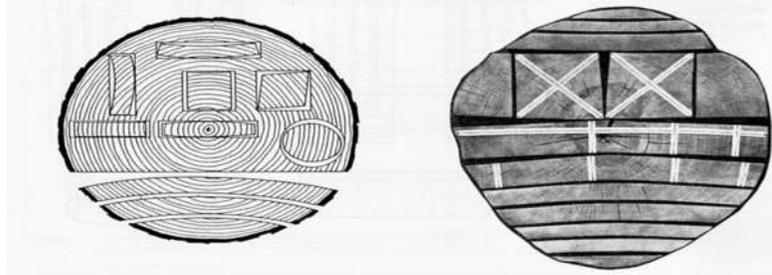


Figura 10. Resistencia de la madera al secarse (JUNAC, 1989)

Clasificación:

1. Defectos naturales u originados por la constitución anatómica de la especie.
2. Defectos originados por ataques biológicos.
3. Defectos originados durante el secado.

Tensiones de secado dentro de la madera

Las tensiones que se producen en una pieza de madera durante el secado son de naturaleza diferente.

Nudos. Son las porciones de las ramas que quedan rodeadas por la madera del tronco. Se le define como el área de tejido leñoso resultante del rastro dejado por el desarrollo de una rama, cuyas características organolépticas y propiedades son diferentes a las de la madera circundante (Echenique y Robles, 1993).

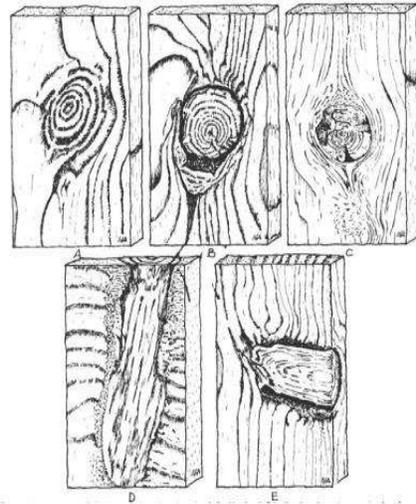


Figura 11. Esquema de los principales tipos de nudos en la madera: (A) nudo fijo, (B) y (C) nudo flojo, (D) nudo en forma de perno, (E) nudo en forma de perno mostrando la porción fija y la floja (Echenique y Robles, 1993).

Manchas. Son causadas por hongos que crecen en la madera, están limitadas mayormente a la albura y son de varios colores.



Figura 12. Corte radial de un PINO afectado por la mancha azul.

Rajaduras y grietas. Consiste en la separación de los elementos constitutivos de la madera, cuando atraviesa o no el grosor de la pieza.

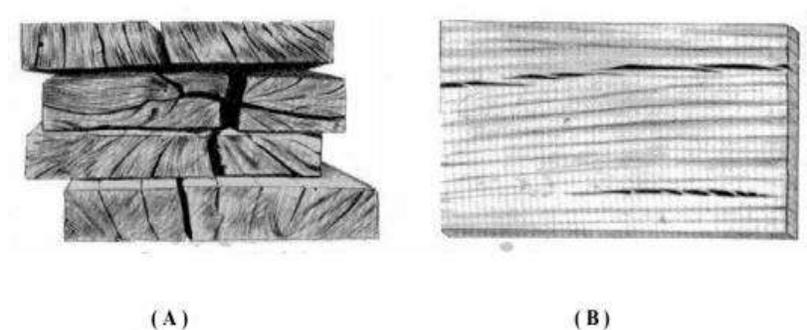


Figura 13. Rajaduras y grietas en la madera. Rajaduras en el extremo de varias piezas de madera aserrada (A). Grietas en una tabla de madera aserrada (B)



Colapso. Es el resultado del secado rápido de madera con un contenido de humedad tan alto, que todas sus cavidades celulares están completamente llenas de agua libre y donde faltan las burbujas de aire que regularmente se encuentran en las células.

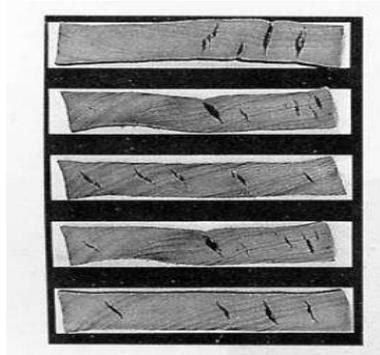


Figura 14. colapso en el secado de COIGUE (Nothofagusdombeyi) (según RESSEI y WELLING R.F.A)

Endurecimiento. Si la resistencia natural de la madera es menor que las tensiones producidas, pueden desarrollarse agrietamientos superficiales que constituyen o reflejan un estado temprano de endurecimiento. Esta situación se detecta cuando al recortar o reaserrar longitudinalmente una tabla.

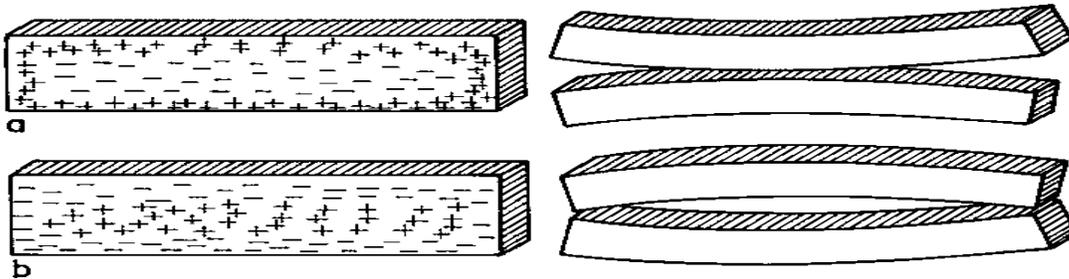


Figura 15. Condición de esfuerzo durante el secado de la madera que conduce al defecto de endurecimiento

- a = Al principio del secado (tensión en las capas exteriores y compresión en el centro).
- b = Endurecimiento (compresión en las capas exteriores y tensiones en el centro).
- ++++ Tensión
- ==== Compresión

Agrietamiento interno. Se atribuyen a un control incorrecto del proceso de secado y pueden evitarse por medio de la selección de un programa correcto de secado, una vez formadas las grietas la madera no puede utilizarse.



Figura 16. Defecto de agrietamiento interno en madera de ROBLE (KOLLMANN 1968, *principes of Wood science and technology*)

Contracción. Cuando la madera se seca por debajo del punto de saturación de las fibras, la humedad es removida de las paredes celulares la pieza se contrae.

Torcedura. Es el alabeo que se presenta cuando las esquinas de una pieza de madera no se encuentran en un mismo plano, se reconoce cuando al colocar la pieza sobre una superficie plana, se observa el levantamiento de una o más aristas en diferentes direcciones.

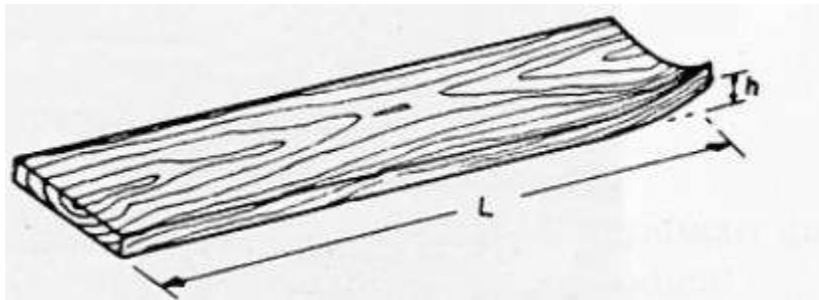


Figura 17. Representación de torcedura

Secuela o programa de secado

Una secuela de secado es un programa que persigue secar la madera de la manera más económica, lo más pronto posible y con un mínimo de defectos. Se compone de etapas de secado y de una serie de datos de temperatura y humedad relativa. En la mayoría de los programas de secado, a medida que la temperatura aumenta, la humedad relativa disminuye. Los programas para madera estructural de pinos del sureste son una excepción a esta regla. Esta madera se seca usualmente a temperatura y humedad relativa constantes. Las secuelas de secado varían de acuerdo a la especie, el espesor, contenido de humedad inicial, la calidad y el uso final de la madera. Existen normalmente dos tipos de secuelas de secado: secuelas basadas en el contenido de humedad y secuelas basadas en el tiempo de secado. La mayoría de las maderas duras (latifoliadas) se secan con



secuelas basadas en el contenido de humedad y la mayoría de las maderas blandas se secan con secuelas basadas en tiempos desecado (Forest Products Laboratory, 1999).

La selección de un programa de secado se simplifica cuando la carga consta de una especie, un espesor y un contenido de humedad uniforme. La uniformidad de factores variables se debe mantener lo más posible para una buena calidad de secado uniforme (Simpson, 1991).

Inicio del secado

Es necesario revisar puertas y paredes observando que no presenten grietas, agujeros, etc. Para que no interfieran en los resultados finales de secado. Si la cámara se encuentra en condiciones regulares, se debe alargar el tiempo 1.2 veces más; si se encuentra en malas condiciones 2 veces más (Cruz, 2006)

Los riesgos de posibles defectos en el secado y el excesivo tiempo de secado pueden ser reducidos, si se siguen los procedimientos y si los controles de pre arranque y de partida son los adecuados. Estos controles y procedimientos pueden variar un poco con el tipo de horno, pero todos tienen como objetivo el garantizar que el equipo de secado funcione correctamente (Simpson, 1991).

Periodo de calentamiento

El propósito fundamental, en esta primera etapa, es elevar la temperatura de la madera hasta el nivel seleccionado previamente en función de la especie que se trate; por lo que se debe mantener en la estufa de secado una alta humedad relativa del aire (aire saturado de humedad) para evitar que la madera pierda humedad durante su calentamiento inicial, si por algún motivo esto llegara a ocurrir, existe el riesgo de que se provoque un endurecimiento superficial de la madera, lo que a la postre dificultaría su secado y se generarían defectos irreversibles como agrietamientos, alabeos, etc. (Fuentes, 1996).

En el periodo de calentamiento se requiere de mucho calor y pulverización de vapor. Este procedimiento se encargará de reducir hasta cierta medida el tiempo



requerido para el calentamiento. Cuando los sistemas de calefacción como los de pulverización estén trabajando en el calentamiento, se requiere utilizar una gran cantidad de vapor. El consumo elevado de vapor puede exceder la capacidad de la caldera y con ello afectarlas condiciones de secado en las demás cámaras que estén en funcionamiento.

Existen varios programas con claves y tablas de secado, que pueden ser seleccionados. Estos incluyen especies, grosor, contenido de humedad, duramen o albura (Seco, 1998).

Para conseguir que el gradiente de temperaturas se dirija hacia el exterior es necesario calentar previamente toda la masa de la madera antes de que dé comienzo el secado propiamente dicho, ya que la evaporación del agua libre en el frente de evaporación produce una disminución superficial de la temperatura (Seco, 1998).

Cuando la salida de vapor está activada, la humedad dentro de la cámara se condensa en la madera húmeda, al igual que en las paredes del horno frío, techo, y otras piezas metálicas. La condensación durante el calentamiento impide el secado de la madera y de hecho la madera suele recoger la humedad existente.

La condensación puede causar mancha de agua en la madera y contribuir a la corrosión de las partes del horno. Otro peligro es el efecto sobre la madera parcialmente seca que puede contener alguna superficie deformada (Simpson, 1991).

Mecanismo sugerido en el periodo de calentamiento

Operar en forma alternada el sistema de calentamiento y generador de vapor, con lo cual se logrará incrementar la temperatura del sistema y mantener a la par una atmósfera saturada de vapor, lo que finalmente asegurará que no se inicie el secado de la madera (Fuentes, 1996).

Observando la operación de la secadora después de que la elevación de la temperatura en el calentamiento se efectúa con un ritmo lento y manteniendo una



elevada humedad relativa del aire en el interior de la cámara ($\geq 85\%$), con el fin de evitar un secado temprano de la madera y el riesgo de que se produzcan daños superficiales (Seco, 1998).

Operación del horno después del calentamiento

Inicia la reducción del calentamiento, es un punto de ajuste que lleva aproximadamente una hora alcanzar al horno, el sistema de calefacción se puede recortar. En los hornos de fuego directo, la tasa de disparo puede ser reducida. En los hornos de vapor calentado, la cantidad de área de superficie de transferencia de calor, presión de vapor, o ambos pueden ser reducidos. El área superficial se disminuye cerrando las válvulas de las líneas de alimentación y de drenaje de algunos serpentines de calefacción, con esto la presión del vapor se reduce ajustando el regulador de presión de vapor. El procedimiento habitual en la reducción de radiación es cortar los serpentines de calefacción más grandes, estos trabajan primero y gradualmente hacia abajo al serpentín más pequeño que mantendrá la temperatura deseada en los bulbos (Simpson, 1991).

Proceso de secado

De acuerdo a los programas de secado, al meter la madera debe predominar en la cámara una alta humedad relativa (arriba de 30% de humedad), baja temperatura y alta humedad de equilibrio;

Una vez puesto en marcha el horno, la madera se seca de acuerdo a la programación seleccionada en la secuela, se ocupa principalmente analizar y seleccionar los horarios, y el propósito de esta sección es discutir los aspectos operacionales de programas de secado, el horario del horno es un compromiso por trabajar en secar la madera tan rápido como sea posible y, al mismo tiempo, evitar las condiciones de secado drásticas, ya que esto haría que el secado ocasionará defectos.



Es una serie de temperaturas de bulbo húmedo que establecen la temperatura y la humedad relativa en el horno y se aplican en las diversas etapas del proceso de secado. Las temperaturas conllevan a una satisfactoria velocidad de secado y evitar defectos en él. Las tensiones que se desarrollan durante el secado constituyen el factor limitante que determina el horario del horno. Los horarios deben desarrollarse de manera que las tensiones de secado no superen la fuerza de la madera en cualquier temperatura y contenido de humedad determinado.

De lo contrario, la madera se agrieta ya sea en la superficie o internamente. La madera generalmente se vuelve más fuerte ya que el CH disminuye. El resultado neto es que a medida que se seca la madera, se hace más fuerte debido a que el contenido de humedad disminuye y puede tolerar un secado más alto de temperaturas, así como humedades relativas más bajas sin agrietamiento. Por lo tanto, el secado rápido se consigue en hornos por el uso de temperatura (Simpson, 1991).

Se busca provocar de manera progresiva y controlada la eliminación de humedad presente en la madera, mediante el manejo apropiado de las variables de proceso, mismas que dependerán del contenido de humedad de la madera.

Para este caso en particular, es necesario dividir la etapa de secado en dos fases importantes:

Secado por arriba del punto de saturación de la fibra

En esta etapa solo se eliminará el agua libre, es decir, toda la humedad que excede al 30% en la madera. Su expulsión es relativamente fácil, normalmente la temperatura inicial dentro de la cámara se mantiene constante, la humedad relativa del aire se disminuye paulatinamente, a la vez que el gradiente de secado se incrementa. Desde luego, la variación de las condiciones de trabajo se efectúa acorde con una secuela de secado (Parra, 1953).



Secado por debajo de del punto de saturación de la fibra

Este secado se inicia cuando la humedad de la madera ha disminuido hasta aproximadamente un 30%, por lo tanto, inicia también la eliminación del agua fija, que, por estar ligada molecularmente, será necesario incrementar progresivamente la temperatura y el gradiente de secado hasta sus valores finales preestablecidos (Parra, 1953).

Igualamiento

De acuerdo con Sidney *et al* (1993), se recomienda el tratamiento de igualamiento con el objeto de reducir la diferencia de contenido de humedad, tanto dentro de las tablas como entre la tabla más húmeda y la más seca de una carga de madera en el secador. Es conveniente aplicarlo siempre que tal diferencia de humedad sea mayor a un 3 %, al final de la etapa de secado; y debe de iniciarse cuando el contenido de humedad de la pieza más seca esté un 3% por abajo del nivel de humedad deseado, concluye cuando la pieza más húmeda alcanza el nivel de humedad final nominal (Sidney, 1993).

Tratamiento de acondicionamiento

El tratamiento de acondicionamiento se recomienda con el objeto de eliminar los esfuerzos y tensiones al final del secado. Si este tratamiento no se efectúa o se hace de manera deficiente; la madera quedará fuertemente “tensionada”, por lo que al ser cepillada y/o aserrada tenderá a deformarse cuando se liberen las tensiones presentes en la pieza de madera. Es el paso final del programa, consiste en mantener la temperatura del horno y establecer una humedad relativa dentro de él que proporcione un CHE (contenido de humedad en equilibrio) aproximadamente un 4 % por encima del valor promedio final buscado para la carga. El tratamiento continúa hasta que la madera está libre de tensiones (Viscarra, 1998).



Sistemas de generación de vapor y combustible utilizado

Para calentar la cámara de secado y extraer el agua de la madera, los hornos convencionales utilizan el calor proporcionado por serpentines de vapor, agua caliente o aceite, o el calor directo de un quemador ya sea de petróleo, gas natural, o desperdicios de biomasa. El calor que se genera calienta el aire para extraer el agua de la madera por evaporación, una vez saturado de vapor, el aire caliente es desfogado a través de toberas, absorbiendo al mismo tiempo aire externo que es nuevamente calentado a la temperatura que pueda extraer agua de la madera para repetir este proceso de nuevo. Por consiguiente, los hornos convencionales no son tan eficientes como los hornos de deshumidificación pues requieren un constante recalentamiento de aire a un costo alto de energía. Las calderas de biomasa utilizan la biomasa como combustible para funcionar. Desde un punto de vista energético, la biomasa puede considerarse como aquella materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. En los usos más habituales se extrae dicha energía en forma de calor mediante la combustión de la biomasa, en calderas y estufas. Existe una gran variedad de combustibles biomásicos susceptibles de ser empleados como fuente de calor: astillas, pelets, aserrín, corteza (NyleSimtems 2012).



4. OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar el proceso de secado en estufa de la empresa Silvicultores Guesthers de México S.A. de C.V.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN ESTUFA EN LA EMPRESA SILVICULTORES GUESTHERS DE MÉXICO A.C

5.1 Selección y apilado de la madera.

Se observó que, la selección y apilado de la madera, se realiza considerando espesor y especie, ya que por lo regular se manejan solo pino y encino,

Respecto al apilado son tomados los separadores con los espesores recomendados para un secado más rápido, las pilas son armadas previas a ser secada la madera, también el armado de las pilas es alineado colocando fajillas al ras de las tablas y después a lo largo de cada tendido a 2 pies entre separador, se cuenta con una guía para que el alineado de los separadores sea más parejo, solo que debido a la rapidez con la que los trabajadores arman las arpillas en ocasiones no son utilizados, provocando un acomodo muy disparejo



Figura 18. Clasificación por grosor de la madera a estufar.



Como se puede observar en la figura 18 la selección de la madera a estufar se hace de acuerdo al espesor de las tablas; del lado derecho se observan tablas de 3/4" de espesor y del lado izquierdo de 4/4"; existen referencias que marcan que jamás deben de mezclar variedad de espesores en una misma carga de secado, dicha madera se va acomodando en arpillas de alrededor de 1200 m³ de madera cada una. En su totalidad es madera de pino extraída de la sierra occidente del estado de Michoacán, de diferentes contenidos de humedad, dependiendo la altitud de los predios que fueron talados, varia el número de arpillas que deben de juntarse en este patio ya que se manejan longitudes de 8', 10' y 12' para posteriormente trasladarlas a la estufa de secado (figura 8) y ahí distribuir las arpillas tratando de aprovechar al máximo la capacidad (50,000 pies cúbicos) de la estufa.



Figura 19. Estufas de secado de la empresa con una capacidad máxima de 50,000 pies cada una.



Una vez seleccionada y completada la carga de madera por espesor y especie, y acomodada en arpillas con sus respectivas fajillas cepilladas y secas (Figura 9), se procede a meter la madera a la estufa, en cargas de aproximadamente 47,000 pies de madera (figura 20).



Figura 20. Arpilla con sus respectivas fajillas.



Figura 21. Carga de madera preparada con sobrepesos en la parte superior de cada paquete.



Las arpillas, previamente armadas, son colocadas sobre unos carritos que están fuera de las estufas. Debido a la forma que tienen estos carritos, es necesario poner polines de base y después la arpillá; en la parte superior de las arpillas se colocan contrapesos, justo en la orilla de cada lado de las arpillas. Una vez que se tiene montada sobre los carros toda la madera necesaria para hacer el llenado de la estufa, se prosigue a empujar la carga sobre rieles de acero que están anclados al piso en dirección exacta de la puerta de la estufa y hacia el interior de ella, con la ayuda del montacargas (figura22), facilitando el armado de arpillas en el exterior y no en el interior de la estufa; los rieles de acero se encuentran en ambas puertas con la finalidad de cargar y descargar la estufa en forma lineal ya que cada horno cuenta con puerta doble.



Figura 22. Introducción de la carga por medio de carritos empujados por el montacargas para facilitar el llenado de la estufa.



Figura 23. Estufa cargada antes de iniciar el secado, se aprecian los carritos, polines de apoyo, fajillas, contrapesos



Figura 24. Una vez dentro la madera se bajan los desviadores de aire para que allá una circulación progresiva hacia un mismo sentido después de esto se sierran las puertas de la estufa para comenzar la etapa de calentamiento.

5.2 Probetas para el control de secado en hornos

En el proceso de secado de la empresa no se monitorea el C.H. que va perdiendo la madera, ya que no son implementadas muestras (probetas). Se tiene el conocimiento de que anteriormente lo realizaban, pero lo dejaron de hacer ya que el encargado actual no lo siguió efectuando;

Una manera de evaluar la calidad del proceso de secado es mediante probetas de tenedor, las cuales no se realizan en la empresa



5.3 Análisis de selección de la secuela

Se cuenta con un historial de secuelas completas ya elaboradas en la empresa, dependerá de los espesores de la madera, elegir la indicada. En cada secuela se observan las temperaturas de los bulbos húmedo y seco, así como la depresión existente, también los tiempos de las diferentes fases como el periodo de calentamiento, la etapa del secado después del calentamiento y las etapas de acondicionamiento e igualamiento como lo indican las figuras 25, 26, 27, 28 y 29, dependiendo del espesor con el que se va a trabajar en la estufa

ESTUFAS DE SECADO		ORDEN A OPERADOR PARA SECADO DE MADERA		FECHA		NUMERO	
OBJETIVO: Secar Madera 3/4		SECUERA: 3/4					
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL: %				CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL:			
ETAPA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		PLUMA ROJA (°F) <small>PLUM. ROJ.</small>	PLUMA VERDE (°F)	FECHA DE INICIACION (DIA, MES, HORA)		TIEMPO (HORAS)
NUMERO	DE:	A:					
1			170	155			20
2			170	151			10
3			170	149			8
4			170	146			8
5			170	141			16
6			180	148			6
7			190	155			6
IGUALAMIENTO:		8	190	164			10
ACONDICIONAMIENTO:		9	190	180			13
OBSERVACIONES: NORMAL							

Figura 23. Secuela adoptada para secar madera de pino con espesores de 3/4".



ESTUFAS DE SECADO		ORDEN A OPERADOR PARA SECADO DE MADERA		NUMERO		
OBJETIVO: Secar madera de 3/4"		SECUELA: 3/4"				
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL		CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL				
ETAPA NUMERO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		PLUMA ROJA: (°F)	PLUMA VERDE: (°F)	FECHA DE INICIACION (DIA, MES, HORA)	TIEMPO (HORAS)
	DE:	A:				
1			170	155		13
2			170	151		10
3			170	149		8
4			170	146		8
5			170	141		12
6			180	148		6
7			190	153		6
IGUALAMIENTO		8	170	169		10
ATONCONDIONAMIENTO		9	190	180		13
OBSERVACIONES: BAJAR						

Figura 24. "secuela modificada" empleada por la empresa a lo largo del tiempo y personal en turno

ESTUFAS DE SECADO		PARA SECADO DE MADERA		NUMERO		
OBJETIVO: 5/4" - 6/4"		SECUELA:				
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL		CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL				
ETAPA NUMERO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		PLUMA ROJA: (°F)	PLUMA VERDE: (°F)	FECHA DE INICIACION (DIA, MES, HORA)	TIEMPO (HORAS)
	DE:	A:				
1			160	163		32
2			160	151		20
3			160	149		20
4			160	146		18
5			160	141		30
6			170	141		22
7			180	148		24
SOLBY		8	180	153		13
MONDAY		9	180	170		13
TUESDAY						
WEDNESDAY						
THURSDAY						
FRIDAY						
SATURDAY						
DOMINGO						
LUNES						
MARTES						
MIERCOLES						
JUEVES						
VIERNES						

Figura 25. Secuelas en base al espesor de la madera, en esta figura muestra para espesores de 6/4" misma para 5/4".



ETAPA NÚMERO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		FLAMA ROJA (°F)	FLAMA VERDE (°F)	FECHA DE INICIACIÓN (DÍA, MES, HORA)	TIEMPO (HORAS)
	DE:	A:				
1			160	151		25
2			160	149		20
3			160	146		18
4			160	141		24
5			170	141		22
6			180	148		20
7	EQUILIBRIO		180	153		13
8	ACONDICIONAMIENTO		180	170		13

Figura 26. Secuela “madera de recuperación” elaborada por la empresa para utilizarla con finger join, debido a que se trata de piezas pequeñas la depresión es también pequeña y no sube hasta en las dos últimas etapas, para tratar de prevenir arqueamientos

ETAPA NÚMERO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		FLAMA ROJA (°F)	FLAMA VERDE (°F)	FECHA DE INICIACIÓN (DÍA, MES, HORA)	TIEMPO (HORAS)
	DE:	A:				
1			160	151		12
2			160	149		12
3			160	146		8
4			160	141		20
5			170	141		2-20
6			180	148		8
7	EQUILIBRIO		180	153		10
9	ACONDICIONAMIENTO		180	170		13

SI FALLA LA ESTUFA B

Figura 27. Podemos apreciar dentro del catálogo de secuelas empleadas en las estufas de la empresa algunas con modificaciones no solo si cambia la especie incluso también si llega a presentar fallas la misma estufa como un ejemplo: por si falla la estufa B



5.4 Revisión del equipo

Se realiza la revisión del estado físico de la cámara para que no exista escape de vapor; de la misma manera, se revisan los aparatos de medición y de control, para que el secado sea más preciso, estos deben ser exactos en sus mediciones y no debe faltar ningún componente de la cámara (psicrómetros, tanque de agua, purificador de agua, así como el bulbo seco y el bulbo húmedo). También se revisa el funcionamiento y calibración de los aparatos de medición de la humedad de la madera.

5.5 Periodo de calentamiento

Se inicia el periodo de calentamiento elevando la temperatura de acuerdo a las fases que marca la secuela, el operador se encarga de alcanzar la temperatura inicial y vigilar que esta se mantenga de acuerdo a los tiempos que marca el programa, tratando de evitar desfases en ella, dicho periodo es trabajado y agilizado con la ayuda de serpentines y aspersores de agua, logrando calentar sin perder de golpe la humedad en el ambiente, si no se presentan problemas graves como caída de temperatura, inmovilización de ventiladores, motor, se vuelve a repetir el procedimiento de ajuste de temperatura de acuerdo a las horas que lleve el proceso.

Se analiza si la temperatura dentro de la estufa de secado es alcanzada de acuerdo a las temperaturas definidas por la secuela de secado, y los indicadores nos arrojan que, de acuerdo a la temperatura inicial deseada, el periodo tarda de 6 a 7 horas y esto es generalmente un promedio bueno ya que la caldera es muy grande y si bien está aislada la cámara, no podemos dejar de lado pequeñas fugas por ranuras de desgaste en rieles básicamente; como marca la bibliografía se mantiene de inicio la humedad en la madera ya que de no ser así solo sería



Una extracción superficial de humedad, y las etapas restantes del proceso ocasionarían agrietamientos y más desperfectos en la madera

Se observó que el gradiente de temperatura entre bulbos no es tan brusco lo que es bueno de acuerdo a la literatura ya que de no ser así podría ocasionar reacciones tempranas en la madera verde. Se ha observado que el gradiente de temperatura es pieza clave en el secado, si éste se abre mucho se alarga el proceso y por lo contrario, si se fuerza demasiado abriendo las ventilas para la extracción de vapor, puede ocurrir manchado en las tablas porque se pierde la humedad que genera el vapor dentro de la cámara convirtiéndose en agua.

5.6 Análisis del proceso de secado

Al inicio del secado sí se logra elevar la temperatura conforme lo va solicitando el programa, debido al esfuerzo de la caldera que trabaja a base de biomasa y a la constante revisión de los manómetros, sin embargo no todo depende del esfuerzo de los operadores de la estufa ya que las temperaturas dentro de la cámara pueden variar a las registradas en la gráfica, otro factor a controlar es la depresión para agilizar el proceso y evitar posibles defectos en la madera; se observó también que la estufa es dividida en tres turnos de operación con el fin de estar monitoreando constantemente la estufa tratando de llevar el proceso con el menor número de fallas posible una vez que se logra disminuir la humedad relativa, la temperatura se aumenta poco a poco hasta obtener la humedad final requerida, también se analizó que los gradientes marcados en la secuela son un poco agresivos (mayor que lo que nos marcan la literatura especializada) ya que con el paso de las etapas marcadas en la secuela la depresión de temperatura va aumentando paulatinamente, desde 5 y 10° al inicio, hasta alrededor de 20° en las etapas finales, para no ocasionar contracciones graves; nuevamente entre en juego la experiencia de los trabajadores manejándose con parámetros ya establecidos, cumpliendo y satisfaciendo las peticiones del cliente en cuanto a la humedad final requerida de la madera



Con la etapa de enfriamiento termina el proceso de secado realizado en cámara , y en este caso como la empresa se encuentra ubicada en condiciones de clima cálido, solo se prosigue abriendo la estufa y dejando un mínimo de dos horas la madera dentro de ella antes de ser extraída, a diferencia de la literatura, que indica que si bien no hay un tiempo definido para el proceso de enfriamiento, sí debería dejar que la carga se enfríe completamente antes de abrir puertas, ya que de no ser así, las piezas podrían sufrir deformaciones o rajaduras en sus extremos, así que es una decisión arriesgada abrir puertas aun cuando la madera está caliente.



6.- DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE SECADO EN ESTUFA EN LA EMPRESA SILVICULTORES GUESTHERS DE MÉXICO S.A. DE C.V.

6.1 Selección y apilado de la madera

La forma de apilar por especie y por espesor es buena, aunque se recomienda implementar una selección por contenido de humedad, y que se tome en cuenta la clase específica de pino, ya que la madera en trozo la llevan de distintas procedencias y pueden variar los contenidos de humedad iniciales, esto podría repercutir después del secado en Contenidos de Humedad heterogéneos. Tampoco es considerada la calidad de la madera puesto que hasta después del secado es clasificada.

Se considera que para el apilado se toman los separadores con los espesores recomendados para un secado más rápido; se considera que el número de separadores es el idóneo y las dimensiones también; se cuenta con una guía para que el alineado de los separadores sea parejo, solo que debido a la rapidez con la que los trabajadores arman las arpillas en ocasiones no es utilizada, se recomienda usar dicha guía para un acomodo completamente parejo y evitar que se corra el riesgo de presentar pandeos en las tablas.

Se cumple con el uso de contrapesos, esta es una buena práctica, ya que un contrapeso bien colocado ayuda a prevenir la deformación en las tablas, por lo tanto, mejoran la calidad en la madera estufada.

6.2 Muestras para el secado de madera en hornos

Se observó que no llevan a cabo el control con probetas, por lo que se recomienda retomar el uso de ellas para monitoreos basados en contenidos de humedad y no por tiempos, justificando que los programas que basan las etapas por tiempo son menos precisos en relación a las que lo hacen por contenido de humedad.

Las ventajas serían reflejadas en el proceso en cuanto ahorro de tiempo-dinero y un mejor manejo de la secuela.

6.3 Resultado de las pruebas de tenedor para evaluar la calidad del secado

Aunque la empresa no realiza esta prueba se optó por llevarla a cabo para tener una referencia de la calidad del secado y los resultados fueron que si existen ligeras tenciones.



Figura 28. Probeta de tenedor elaborada con madera de pino, presentando un poco de endurecimiento.



Figura 29. Probeta elaborada en una tabla de madera de 3/4, la cual presenta endurecimiento.



6.4 Selección de secuela

Se identificó que el programa de secado (secuela) utilizado en la estufa es manejado por tiempo y no por contenido de humedad de la madera, Se recomienda actualizar secuelas ya que las condiciones de la cámara y del ambiente cambian puesto que con el paso de los años el rendimiento de los componentes no es el óptimo y se pueden presentar fallas, fugas de calor, entre otros. Se recomienda implementar el uso de secuelas en base al contenido de humedad de la madera.

6.5 Inicio del Secado

Antes de iniciar el proceso de secado se hace una inspección del estado físico de la cámara para verificar que no exista escape de vapor, se revisan los aparatos de medición y de control, para que el secado sea más preciso y más rápido. Durante la inspección se notó que por los años que ya tiene trabajando la estufa es casi imposible que no existan fugas de vapor por pequeñas que estas sean, al igual que los psicrómetros encargados de abrir y cerrar ventilas automáticamente no trabajen correctamente, ya que con el tiempo presentan desgaste, esto repercute en posibles mediciones erróneas. Se recomienda establecer un programa de mantenimiento a psicrómetros, bulbos, trampas y ventilas, para un control adecuado del proceso y evitar retrasos durante el mismo.



6.6 Periodo de calentamiento

Se analizó si la temperatura dentro de la estufa de secado era alcanzada de acuerdo a las temperaturas definidas por la secuela, y los indicadores nos arrojan que, el periodo tarda de 6 a 7 horas, se puede decir que es un promedio bueno ya que la caldera es muy grande y si bien está aislada la cámara, no podemos dejar de lado pequeñas fugas por ranuras de desgaste principalmente en rieles. Se recomienda dar mantenimiento a los serpentines para que estos mantengan una temperatura homogénea en toda la cámara y calibrar los indicadores para que arrojen datos reales y abran y cierren ventilas adecuadamente, esto haría que el manejo de secuela sea óptimo.

Se notó que la diferencia psicométrica es un factor clave en el secado, si éste no es ajustado se alargara el proceso

6.7 Análisis del proceso de secado

Como el proceso de secado se realiza bajo una secuela que se basa en tiempos, no hay mucho problema en el control del proceso, pero se considera que en el proceso sería bueno implementar el uso de sensores conectados a la madera o incluso algunos termómetros dentro de la estufa con opción de ser extraíbles fácilmente o visibles desde el exterior de la cámara para un monitoreo de temperaturas más preciso,

Se analizó la fase de igualamiento en el secado de $\frac{3}{4}$ " que tiene un periodo de 10 horas, mismo que en ocasiones es disminuido debido a la necesidad de agilizar y terminar el proceso. Se identificaron irregularidades en esta fase ya que más de una vez se observó mayor contenido de humedad de la mitad de la carga en comparación con el resto de madera, notándose que el igualamiento no cumple



del todo con su función, pero esta irregularidad recae más bien en el equipamiento ya deteriorado de la estufa (serpentines y trampas de vapor), porque se recomienda que deberían ser reemplazados cuanto antes.

En el acondicionamiento se observó que si bien no se abren las piezas de los cabezales, no se llega a la meta de este proceso ya que no existe homogeneidad de C.H. en todas las tablas de la carga, presentándose variaciones considerables, de hasta 8 %, obligando a procesar más tiempo la carga con todo el gasto innecesario que esto representa, Se recomienda establecer un programa preventivo y calibración más constante, lo que dará como resultado procesos más óptimos de secado, pues toda la carga resultará con una distribución homogénea en su CH.



7.- RESULTADOS

Amanera de resumen se presenta el siguiente cuadro, donde se resaltan las principales observaciones que se hicieron, las cuales son divididas en buenas y malas prácticas detectadas en cada una de las etapas del proceso de secado en estufa de la madera.

Cuadro de resultados. –

Etapa del proceso	Buena Practica	Mala Practica	Justificación
Selección y Apilado de la Madera	Realizado adecuadamente por especie y por espesores	No utilizan guías al momento de poner separadores	Al estar desalineados los separadores pueden producirse defectos en el secado (pandeamiento)
		No se selecciona la madera por CH	Con un rango de humedad pequeño se utiliza menor tiempo y se optimiza el uso del equipo
Muestras para el control de secado en Hornos		No se llevan a cabo Muestreos Durante el Proceso.	Al no utilizarlas, no se tiene el control del proceso en función al CH.
		No se sabe el contenido de humedad alcanzado en cada etapa.	Retomar el uso de las Muestras, les daría un proceso de secado óptimo, reducirían tiempos y costos del secado.
Selección de la Secuela	Utilizan diferentes secuelas según estado de madera y equipo	Se basan en la experiencia y no experimentan con nuevas secuelas	Por más eficiente que sea una secuela, es bueno implementar pruebas con otras, no porque este mal, si no por que las condiciones de la cámara y la madera cambian con el tiempo



Cuadro de resultados (continuación). -

Etapa de proceso	Buena practica	Mala practica	justificación
Periodo del Calentamiento	Se alcanza a calentar la cámara de secado a la temperatura que se pretende según la secuela	Poco mantenimiento provoca fallas en motor, bulbo o equipo.	Se deben tener en cuenta el mantenimiento preventivo de la cámara para evitar que un proceso se vea interrumpido por fallas mecánicas.
Proceso de Secado	Los operadores monitorean constantemente indicadores y evitan que exista mucho gradiente de humedad	Poco mantenimiento, serpentines y equipo deteriorados con el tiempo impiden la uniformidad de temperatura en la cámara,	Está bien realizar el chequeo de condiciones de la cámara así como hacer mantenimiento a la misma, un buen acondicionamiento marca rango de variación de 3%
Igualamiento	Se practica en periodo de 10 horas	Reducen el tiempo del proceso para agilizar y terminarlo.	Se identificaron irregularidades en la mitad de la carga en comparación con el otro 50 % de carga
Acondicionamiento	Las piezas no se abren de los cabezales.	No hay homogeneidad de C.H. en todas las tablas de la carga.	No se llega a la meta. Se han presentado variaciones de hasta 8%.
Enfriamiento	Comienzan abriendo ventilas.	Muy precipitado. Se abre la cámara aun antes de que se pierda todo el calor que ahí adentro.	Podría adquirir nuevamente humedad la carga, Ocasionar choque térmico



8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si bien, en casi todos los procesos de secado de la empresa diagnosticada se cumple con la meta, que es secar su madera a un contenido de humedad menor al 12 %, se identificó que son omitidos ciertos pasos en el proceso, pasos que de ser contemplados podrían ayudar a evitar resultados irregulares que se han llegado a suscitar, agilizando procesos y consecuentemente ahorrando tiempo, material energético y costos; que por su larga experiencia y bastante tiempo ubicados en la cima de la venta de madera estufada del país han ido plasmando su propia forma de trabajar con el tiempo dejando a un lado los pasos de operación que nos marca las citas bibliográficas.

La experiencia formada por el tiempo que lleva estufando madera la empresa es sin duda alguna una arma fuerte para seguir operando la estufa como lo hacen y no querer implementar ciertas pruebas de control en sus procesos, como la utilización de probetas con sensores para monitorear el contenido de humedad y lograr mejores resultados de secado más agilizados y más homogéneos, ya que por el momento no se monitorea la carga sino hasta el final del proceso; esta dinámica es muy riesgosa ya que en ocasiones se ha tenido que regresar cargas completas de madera a ser estufadas nuevamente. Esta estrategia se prevendría llevando un control en el proceso de secado y no basándose del todo en los graficadores sino también teniendo fuentes de control alternas para mayor confiabilidad en la lectura de las temperaturas, y por supuesto el uso de secuelas basadas por C.H. y no basadas por tiempos.



Se recomienda:

1. Que utilicen guía para acomodar las fajillas a la hora de armar las arpillas de madera que si bien no se encuentran tan dispares, se notaron un par de tablas arqueadas.
2. Realizar con mayor frecuencia el mantenimiento a los instrumentos de medición para monitoreos más exactos
3. Mantenimiento y cambio de los serpentines que están deteriorados así mismo de las trampas de vapor que no cumplen con su finalidad
4. Utilizar muestras en el proceso para registrar toda la carga a iguales temperaturas o lo más homogénea en cuanto al CH
5. Por fuente de experiencia laboral es recomendable utilizar termómetros adicionales para introducirlos al interior de la cámara y después sacarlos para leer sus temperaturas para corroborarlo con las agujas graficadoras ya que de no coincidir deberá el operador tratar de nivelar la depresión para que el proceso camine como lo indica la secuela
6. Mantenimiento antes de que inicie la temporada para menor presencia de imperfecciones en el uso de la estufa y esta trabaje lo mejor posible.
7. Igualmente la experiencia laboral recomienda medir el paso del aire en la estufa para adecuar desviadores y ventiladores para distribuir uniformemente el calor en toda la estufa



8. Llevar un igualamiento y acondicionamiento basándose en muestras con sensores, así sabrían qué duración deben llevar estas etapas ya que no hay bibliografía que nos indique cuanto tiempo dura la etapa, si no que meramente se rige de acuerdo a todas las condiciones en las que se encuentre la carga. Se hace en función del CH que se desea alcanzar, evaluando las probetas de control continuo
9. En el enfriamiento, abrir la estufa solo hasta que se haya liberado su calor después de apagada y no abrir con las tablas aun calientes porque estas pueden rajarse de los extremos.
10. Ya en el almacén, sería bueno empaquetar la madera con plástico, ya que se desconoce cuánto durará en bodega, además prevendrá reacciones tempranas de ésta



9. - BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, H. y Fernández, J.L. (1992). Fundamentos Teóricos del Secado de la madera. Ministerio de Agricultura y Pesca. Madrid.

Cruz De León J. (2006) Secado De Madera Aserrada. Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo.

Echenique-Manrique R., Robles F.F. (1993). "Ciencia y Tecnología de la Madera I", Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz p 32

Fernández J I., Seco G., Ing. Montes. & CIFOR-INIA. (1998). Manual de secado de maderas. Gráficas Palermo, S.L.

Forest Products. United States Department of Agriculture Forest Service. (1999). Wood Handbook. USDA. Madison, Wisconsin

Fuentes L.M.E. (1996). Análisis comparativos de tres sistemas de secado con madera de Encino *Quercus sp.* Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 136p.

Gómez I., E y M. Ramírez M. (2006). Análisis y estudio del contenido de humedad final de la madera. Revista Ingeniería Industrial. 5(1): 23-30.

Jankowsky, I.P. (1995). Equipamento se procesos para asecagem de madeiras. Procedemof. Seminário Internacional de utilização da madeira de *Eucalyptus* para serraria. IPEF piracicaba. p109-118.

Junta del Acuerdo de Cartagena. (1989). Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas. 1ra Edicion. Paseo de la Republica 3895, San Isidro. Lima, Peru

Kollmann F.F.Py W.A.Cotê. (1968). Princi-ples of Wood Science and Technology. V.I. Solids wood. Springer Verlag, Berlinp. 214.



Muñoz A.F. (2008). Secado de la Madera Aserrada. Kurù Revista Forestal. Costa Rica. 5(13) 1-2.

Parra A., Borgo G. & Valdes F. (1953) El Secado de Maderas en Estufas, Asociacion Mexicana de profesionistas Forestales A.G Mexico1, D.F.

RosenH.N, (1983). Recent advances in the theory of drying lumber. Proceeding softhe IUFRO. Division V Conference, Southern Illinois University, USDA, Madison.P32-64.

Simpson W. (1991) Dry Kiln Operator's Manual Research Forest Products Technologist. Madison, Wisconsin Capitulo 9,8 y 7.

Viscarra S. (1998). Guía Práctica para el Secado de la Madera en Hornos. Santa Cruz, Bolivia



10. ANEXOS

Se desarrolló una secuela y se comparó con la utilizada en la empresa notando que es relativamente más precipitada la que se desarrolló, ya que la que utiliza la empresa tiene cambios de temperaturas menos fuertes, pero sería bueno el considerar el uso de este programa en una estufada para comparar los resultados, aunque claro estaríamos hablando de cambiar sus programas de secado establecidos por horas a los programas basados en C.H.

Programa de secado recomendado para la empresa (propuesta)

Programa de secado

Nombre científico: Pinus sp. Nombre común: Pino Programa: T13 - C4
 Espesor: 4/4 " Humedad inicial: > 40 % Humedad final: 10%
 Observaciones: _____

Etapa de Secado	Etapa de Temperatura	Etapa de Depresión	Clase de: Contenido de Humedad		Programa de Temperatura Bulbo seco		Programa de Depresión		Bulbo Húmedo		Humedad relativa %	Contenido de Humedad en Equilibrio %	Declive de secado
			De :	A:	°C	°F	°C	°F	°C	°F			
			Inicial										
1	1	1	> 40	40	76.6	170	3.9	7	72.7	163	84	13.4	
2	1	2	40	35	76.6	170	5.5	10	71.1	160	78	11.9	3.36
3	1	3	35	30	76.6	170	8.3	15	68.3	155	69	9.3	3.76
4	2	4	30	25	82.2	180	11.1	20	71.1	160	62	7.7	3.90
5	2	5	25	20	82.2	180	13.9	25	68.3	155	54	6.5	3.85
6	3	6	20	15	87.7	190	16.6	30	71.1	160	49	5.6	3.57
7	3	7	15	10	87.7	190	27.7	50	60	140	28	3.5	4.29

Igualamiento	s=8	m=10	87.7	190	14.5	27	73.2	163	52	6	1.67
Acondicionamiento	m=10	x=10	87.7	190	10.3	19	77.4	171	65	8	1.25

s = contenido de humedad de la muestra mas seca
 m = contenido de humedad de la muestra mas húmeda
 X = contenido de humedad de la media

Tabla. - secuela de base elaborada para hacer un comparativo con la actualmente utilizada por la empresa.