

SECADO DE MADERA

INDICE

	Página
1. Conocimientos básicos sobre la madera	3
1.1 Estructura anatómica de la madera	3
1.2. Humedad de la madera	9
1.3. Agua libre	10
1.4. Agua de saturación	10
1.5. Higroscopicidad de la madera	11
1.6. Equilibrio higroscópico de la madera	12
2. Método de determinación de humedad de la madera	12
2.1. Método de balanza y estufa	12
2.2. Métodos eléctricos	13
2.3. Equipos de medición de humedad de la madera	13
3. Recomendaciones para medir la humedad	13
4. Operaciones de secado técnico	14
4.1. Etapas del proceso de secado	14
4.2. Patio de estibas	17
4.3. Estibas de madera	19
4.4. Travesaños	22
4.5. Preparación de la carga	22
4.6. Sistemas de control	24
4.7. Otros controles	27
4.8. Recomendaciones generales	27
4.9. Tratamientos durante el proceso de secado	28
4.10. Verificaciones que se deben realizar antes de comenzar cada proceso de secado.	30
4.11. Controles durante el proceso	30
5. Mantenimiento de madera seca	31
6. Características constructivas	31
6.1. Cámara de secado	31
7. Equipos componentes de los secaderos	33
7.1. Dispositivos de control y regulación	33
7.2. Sistema de ventilación	35
7.3. Sistema de calefacción	35
7.4. Sistema de Humidificación	36
7.5. Ventiletes	37
7.6. Tablero eléctrico	37
8. Operaciones de mantenimiento	37
8.1. Cámara	37
8.2. Sistema de Calefacción	37
8.3. Sistema de Humidificación	39
8.4. Sistema de ventilación	39
8.5. Ventiletes	39
8.6. Tablero eléctrico	40
8.7. Dispositivos para control y regulación	40
9. Procedimiento de mantenimiento de la caldera	40
10. Metodología para la determinación del contenido de humedad de la madera	44
11. Elaboración de separadores y probetas de control	47
12. Mantenimiento y funcionamiento del secadero	54
13. Glosario y definición de términos	56
14. Bibliografía consultada	57

PROCESO DE SECADO TECNICO

1. Conocimientos básicos

Todos los procesos relacionados con el crecimiento y desarrollo de un árbol en pie dependen del movimiento del agua en toda su extensión.

Una gran parte de esta agua debe ser eliminada antes de transformar la madera en un material útil para la elaboración de productos que puedan cumplir con los estándares de calidad requeridos por el mercado. Toda la problemática relacionada con el movimiento (hinchamiento y contracción) de la madera puede ser acotado mediante la aplicación de tecnologías apropiadas.

Uno de los mecanismos para lograr este objetivo es el secado técnico de la madera. Por tal motivo, las propuestas de optimización a implementar en las industrias que poseen secaderos o quieran adquirirlos, están basadas en algunos conceptos básicos sobre la humedad en la madera y los métodos para eliminarla.

Para el desarrollo eficiente de un proceso de secado es necesario conocer algunas características de la madera que permitan comprender su comportamiento y la influencia de su estructura anatómica durante los procesos de movimiento del agua del interior de la madera hacia la atmósfera.

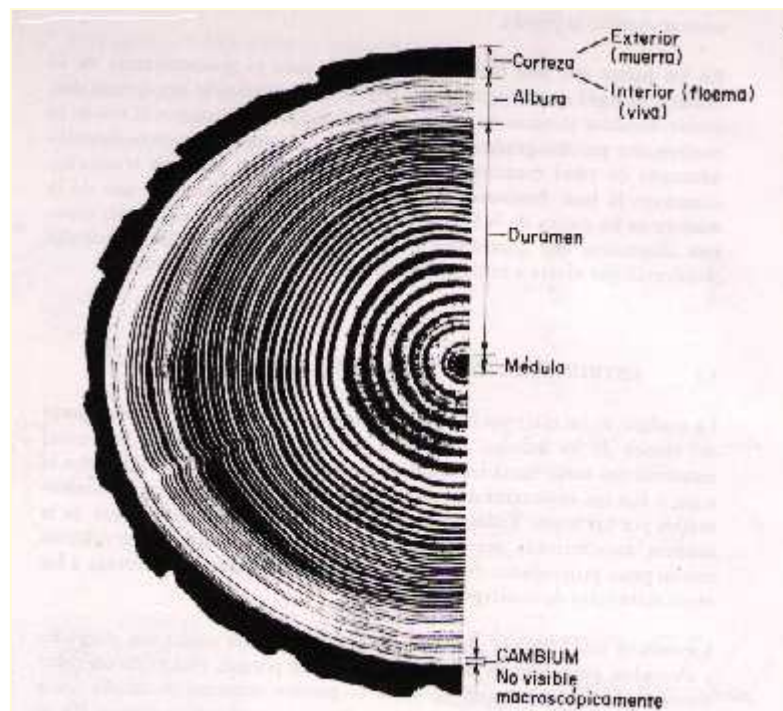
1.1. Estructura anatómica de la madera

Existen en el reino vegetal dos grupos botánicos proveedores de madera con aptitud comercial: las Angiospermas y las Latifoliadas.

A las Angiospermas se las conoce comúnmente como coníferas, por la forma cónica de la mayoría de las especies y por poseer hojas perennes y a las

Latifoliadas como frondosas de hojas caducas. Para ambos casos en un corte transversal del árbol se pueden diferenciar las siguientes zonas

- Zona externa o corteza
- Zona intermedia, tejido leñoso o madera
- Zona central o medula, de pequeñas dimensiones y características diferentes a la madera.



Anillos de crecimiento: Entre la corteza y la madera se encuentra una zona imperceptible macroscópicamente llamada cambium. El cambium es la zona responsable del crecimiento del árbol, originando cada año un anillo de crecimiento hacia el centro del árbol (madera) y otro hacia el exterior (corteza), por lo tanto los árboles crecen de diámetro por anillos.

Estos anillos pueden ser anuales o estacionales. Los anuales son típicos de zonas boreales y los estacionales de zonas tropicales.

Dentro de cada anillo se pueden distinguir con cierta facilidad la madera de primavera y la de verano.

Ambas zonas del anillo pueden presentar diferencias de color: la madera de primavera es más clara que la madera de verano. Esta diferenciación de color y su alternancia se conoce como la "veta" de la madera.

Dependiendo del tipo de corte que se realice, los anillos de crecimiento se manifiestan en la superficie de la madera de diferentes maneras. En un corte transversal, los anillos aparecen como círculos concéntricos. En un corte radial se presentan como líneas paralelas a la dirección del eje del árbol. En un corte tangencial se presentan como una "V" invertida dando un diseño de tipo catedral.

Albura: Es la zona de conducción de sustancias alimenticias para el árbol. En general es muy porosa, blanda, poco resistente al ataque de hongos e insectos y de color más claro.

Duramen: Es la zona que se forma por duraminización de las células que conforman los anillos de crecimiento. Con el paso de los años las células van perdiendo vitalidad y obstruyéndose con sustancias tales como gomas, resinas, aceites, minerales, taninos, etc. Es una zona de coloración más oscura que la albura y resistente en mayor grado al ataque de hongos e insectos.

En el caso de coníferas la madera está formada por una serie de elementos o haces llamados traqueidas. En el caso de latifoliadas por vasos que se disponen en dirección longitudinal al eje del árbol. Existen otra serie de haces que se disponen en dirección perpendicular al eje del árbol denominados radios leñosos y tienen la función de cohesión de los conjuntos de vasos y traqueidas. Este conjunto se conoce con el nombre de **MADERA**.

Traqueidas: Son un conjunto de células que sirven como elemento de sostén y conducción en las coníferas. En sus paredes celulares se encuentran las puntuaciones, sobretudo en las caras radiales.

Vasos leñosos: son células dispuestas en dirección longitudinal, responsables de la conducción ascendente del agua y sustancias minerales y se presentan como tubos largos fácilmente observables. Estas células poseen en su pared unos orificios denominados puntuaciones que sirven para el intercambio de líquidos y gases entre células adyacentes.

Fibra: es el conjunto de células más numerosas, dispuestas en sentido del eje del árbol y rodeando los vasos. A la orientación que tienen las células (fibras) de la madera en dirección al eje del árbol se la denomina “Grano”. Se pueden definir los siguientes tipos de grano:

- Grano recto: cuando los elementos se disponen en sentido paralelo entre sí y respecto al eje del árbol. Las maderas con este tipo de fibra presentan gran resistencia mecánica pero un diseño poco atractivo.
- Grano ondulado o inclinado: cuando los elementos se disponen paralelos entre sí pero describiendo una trayectoria sinuosa respecto al eje del árbol. Estos movimientos pueden presentarse en los planos radiales o tangenciales.
- Grano entrelazado o espiralado: las fibras presentan una inclinación respecto al eje del árbol, en algunos períodos del crecimiento pueden tomar un sentido y en otros uno contrario. Presentan diseños similares a las maderas que tienen fibra inclinada.
- Grano revirado o entrecruzado: las fibras mantienen una inclinación constante con mayor o menor ángulo, desarrollándose en sentido helicoidal respecto del eje del árbol. Las maderas con este tipo de fibra tienen gran tendencia a rajarse.

- Grano crespo: los elementos cambian constantemente la dirección en sentido longitudinal realizándose los cambios con distintos grados de intensidad. En general son maderas difíciles de trabajar pero proporcionan diseños interesantes.

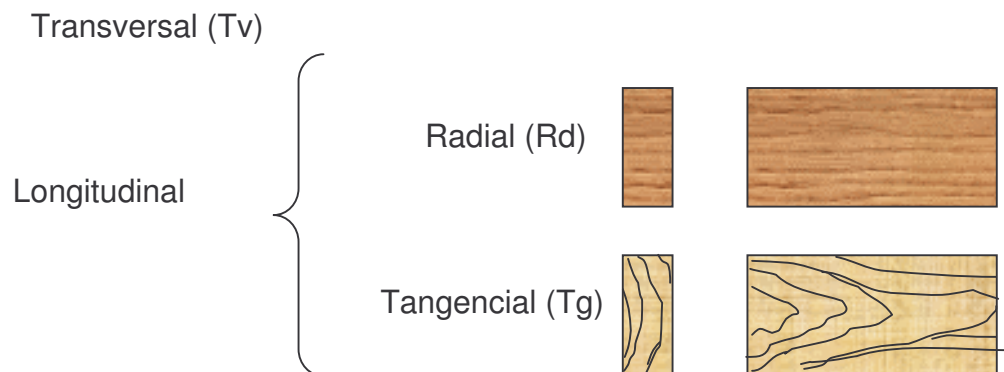
Radios leñosos: Son un conjunto de células que se encuentran dispuestas en sentido transversal respecto del eje del árbol.

Textura: es una palabra que define el mayor o menor diámetro de los elementos constitutivos del leño. En el caso de coníferas el diámetro de las traqueidas y en el caso de frondosas el diámetro de los vasos. Se pueden definir:

- Textura gruesa: cuando los elementos se pueden observar a simple vista pues su tamaño es muy grande (nogal, roble, algunos pinos).
- Textura media: cuando los elementos tienen tamaño intermedio (araucarias, cedros, plátano).
- Textura fina: cuando los elementos tienen tamaño muy pequeño (eucaliptos, quebracho colorado, lenga, lapacho).

Planos típicos de corte

Los planos típicos de corte en una madera son:



El conocimiento de la estructura de la madera permite conocer su influencia en el proceso de secado.

Las diferencias anatómicas que tienen las distintas especies de madera tienen una clara influencia en el flujo de humedad en el interior de las mismas.

Debe diferenciarse entre el movimiento de agua libre, el de agua de saturación y el de agua de constitución.

En el caso del agua libre las punteaduras juegan un rol importante, especialmente el tamaño y número de los poros de sus membranas porque son las que definen la mayor o menor facilidad del flujo de agua.

Considerando que las punteaduras se disponen en su gran mayoría en las caras radiales de los elementos longitudinales (traqueidas, fibras), la circulación de agua será mas rápida en sentido radial que en el tangencial. Esto significa que las tablas con sus caras de corte radial perderán agua con mas facilidad que las de corte tangencial.

En el caso del agua de saturación que está impregnando la pared celular, el flujo se realiza a través y por el interior de la estructura de la pared celular. Por tal motivo, la densidad de la madera juega un papel importante en el proceso de difusión. A medida que aumenta la densidad las paredes celulares son más gruesas y los lúmenes mas delgados, por tal causa el agua de saturación se desplazará con dificultad por el interior de dicha estructura.

En el caso de las coníferas de rápido crecimiento que poseen anillos de crecimiento más grandes, el secado será mas rápido y fácil.

Las latifoliadas de anillo poroso (roble, fresno) procedentes de árboles de rápido crecimiento, resultan difíciles de secar con respecto a otras cuyo crecimiento es más lento.

Como regla general puede decirse que:

- ✓ Las maderas blandas secan más rápidamente que las maderas duras.
- ✓ Las coníferas de crecimiento rápido secan más fácilmente que las de crecimiento lento, incluso para las de la misma especie.
- ✓ Las latifoliadas de anillos porosos se comportan de forma opuesta al patrón citado para coníferas (su velocidad de secado es mayor cuanto menor sea el espesor del anillo de crecimiento).
- ✓ Las latifoliadas de anillo poroso secan más rápidamente por los extremos que las coníferas, por lo tanto el riesgo de rajaduras de cabeza es alto.
- ✓ La pérdida de humedad de las tablas de caras radiales es más rápida que la de las tablas de caras tangenciales.
- ✓ La albura seca más rápidamente que el duramen.
- ✓ La albura se colapsa en menor proporción que el duramen.
- ✓ La madera con grano entrelazado o revirado es más propensa a los alabeos.
- ✓ Las rajaduras durante el proceso de secado se originan en los radios medulares debido a la naturaleza débil de los mismos.

1.2 Humedad de la madera

El contenido de agua que posee un árbol recién cortado depende de varios factores entre los que se destacan las características intrínsecas de la especie, la época del año en que se produce el apeo, y la región o lugar de procedencia. Las maderas menos densas o más livianas, al ser más porosas, por lo general contienen mayor cantidad de agua que las maderas más densas o pesadas. Lo mismo ocurre entre la albura y el duramen; la albura al estar formada por células que tienen como función la de conducción de agua, presenta un contenido de humedad mayor que el duramen.

La relación “contenido total de agua / material leñoso”, es muy variable en una pieza de madera y, en muchos casos, como **pinos, sauces, álamos y eucaliptos**, pueden tener valores muy superiores al 100% respecto de su peso seco, aunque lo más común es que estos valores no superen el 100%.

El agua contenida en la madera se encuentra en tres formas: como agua libre, agua de saturación y agua de constitución. Para el proceso de secado solo se tienen en cuenta los dos primeros tipos de agua.

1.3 Agua libre

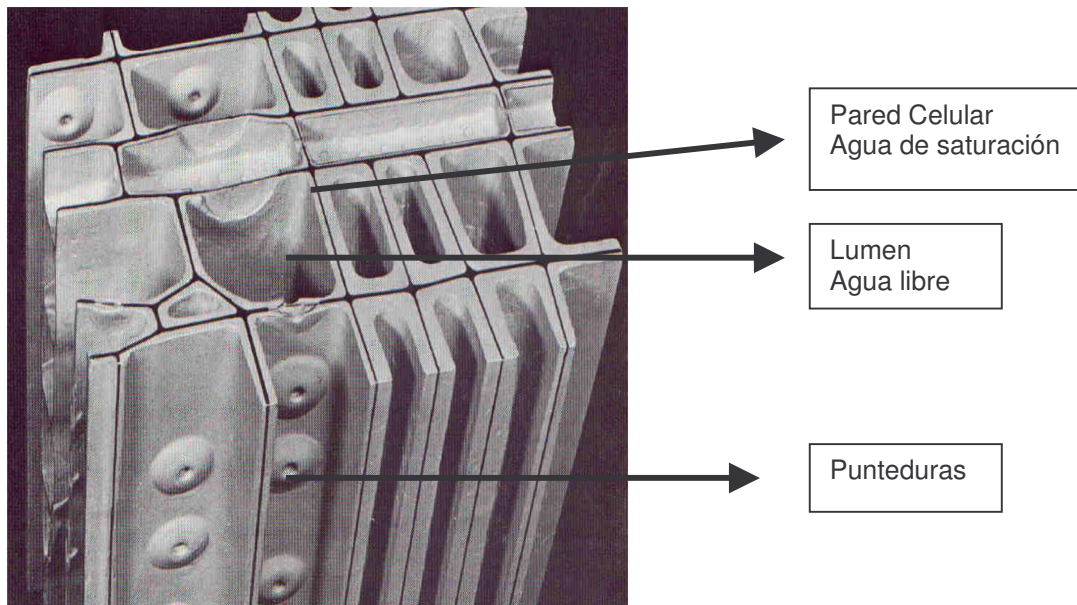
Es el agua que se encuentra en las cavidades de las células ó lúmenes. La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros. Esta agua se va perdiendo hasta un punto denominado **Punto de Saturación de la Fibras (PSF)** que se corresponde a contenidos de humedad de la madera, entre 21 y 40 %, dependiendo de la especie de que se trate.

Cuando la madera alcanza este punto, ya no existe más agua en las cavidades celulares. Durante esta fase de secado o pérdida de agua la madera no experimenta cambios dimensionales ni alteraciones en sus cualidades físico-mecánicas.

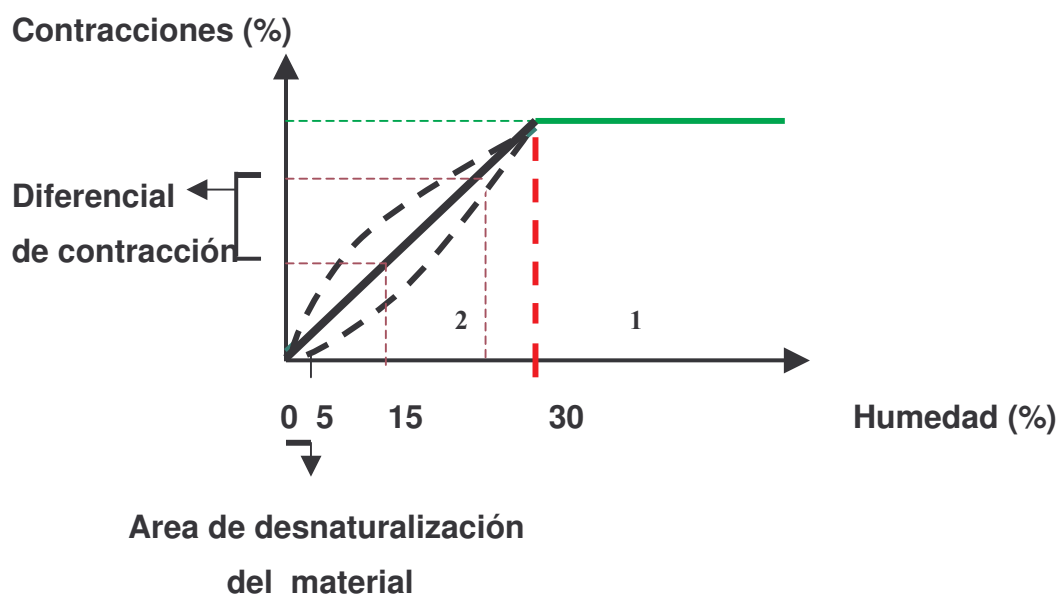
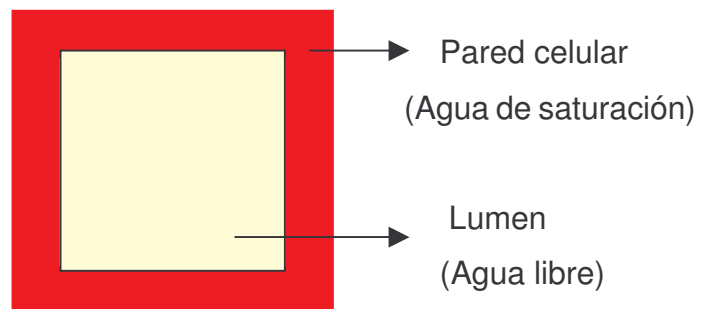
1.4 Agua de Saturación

Es el agua que se encuentra en las paredes celulares. Durante el proceso de secado el agua de saturación sale con más lentitud que el agua libre y provoca cambios dimensionales conocidos como “contracciones”.

La pérdida de agua se produce hasta llegar a un equilibrio higroscópico entre la madera y el ambiente que la circunda.



Marco teórico célula – agua en la madera



- | | |
|----|--|
| 1- | Zona de agua libre – Ausencia de contracciones |
| 2- | Zona de agua de saturación - Contracciones |

.....	Punto de saturación de las fibras (PSF)
— —	Ojal de histéresis

1.5. Higroscopicidad de la madera

El mejoramiento de la madera en sus propiedades de hinchamiento y contracción puede explicarse perfectamente desde el secado técnico de la madera.

La higroscopicidad de la madera con los fenómenos de hinchazón y merma que lleva implícitos, así como la anisotropía con la consiguiente variación de las propiedades según la dirección que se considere, son causas de dificultades para su empleo y la de sus derivados.

El proceso de secado técnico permite disminuir al mínimo esta higroscopicidad mediante la aplicación de técnicas precisas en función de la especie de que se trate.

1.6. Equilibrio higroscópico de la madera

La madera expuesta al aire ambiente está influenciada por los cambios, pero cuando se encuentra en una atmósfera donde la temperatura y humedad relativa se encuentran fijas, la madera se estabiliza a una determinada humedad llamada de equilibrio (HEH ó UGL).

En la fabricación de productos de madera este concepto es importante a fin de secar a condiciones de humedad final que permita la estabilidad del material en el ambiente donde será colocado.

2. Métodos de determinación de humedad de la madera

Entre los métodos usados existen dos que permiten medir la humedad de la madera de forma confiable y que están descriptos en la norma IRAM 9532.

2.1. Método de balanza y estufa

Este método considera a la madera totalmente seca cuando al secarla en estufa a $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ alcanza peso constante.

El contenido de humedad de una madera se define como el peso del agua presente en una pieza de madera, expresada en función del peso de esa pieza al estado seco o anhidro. Se expresa en porcentaje y se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$H (\%) = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Donde:

H (%) = Humedad expresada como porcentaje de su peso anhidro

Ph = Peso de la madera al estado verde o inicial

Ps = Peso de la madera en estado anhidro

2.2. Métodos eléctricos

Este método tiene su base en las propiedades de conductividad eléctrica, constante dieléctrica y pérdida de potencia de la madera seca y la madera húmeda.

2.3. Equipos de Medición de humedad de la madera

Existen dos tipos de Xilohigrómetros de dos tipos: “**los del tipo de resistencia**”, destructivos, llamados así porque utilizan electrodos que se introducen en la madera para registrar el tenor de humedad dejando la marca de esos electrodos en la pieza medida, y “**los del tipo de contacto**”, por radiofrecuencia, no destructivos, que se apoyan a la superficie de la madera sin perforarla. Ambos tienen selectores por grupo de madera y por temperatura de medición.

3. Recomendaciones para medir la humedad

Para un control permanente de la humedad de la madera , se deben utilizar los Xilohigrómetros o medidores de humedad.

Para asegurar la calidad de las lecturas se debe implementar una rutina de calibración anual para los instrumentos de medición de humedad. La calibración se realizará considerando cada una de las especies de madera que se utilizarán. En caso de duda en alguna medición con Xilohigrómetros, se debe realizar una determinación por el método de secado en estufa considerado en la Norma IRAM 9532, y su resultado debe considerarse como válido.

4. Operación de secado técnico

Para la conducción del proceso de secado técnico existen una serie de directivas generales que se enumeran a continuación, pero le corresponde al operador de secado dar la flexibilidad necesaria a lo largo del proceso. La flexibilidad a la que hacemos referencia está fuertemente ligada a las características del secadero y a las características de la madera.

4.1. Etapas del proceso de secado

Se pueden definir etapas bien marcadas en el desarrollo del secado de las maderas:

➤ **Período preparatorio, de calentamiento y humidificación**

Esta etapa permite el calentamiento de la madera a la condición más cercana al inicio del proceso de secado propiamente dicho. En esta etapa se debe subir el estado higrométrico (Humedad relativa = HR) a valores cercanos a la saturación ($\pm 100 \%$). Esto permitirá reducir el tiempo de calentamiento y hacer llegar a la madera a una temperatura próxima a la temperatura de inicio del proceso de secado.

La máxima temperatura a la que se debe llegar en esta etapa es la temperatura de inicio del proceso de secado propiamente dicho.

En general la madera se calienta a razón de 1 cm por hora para madera dura y 1,5 cm por hora para madera blanda. Cuanto menor sea el contenido de agua en la madera a secar, mayor será el tiempo que se destinará a esta etapa para evitar daños irreversibles en la madera.

➤ **Período de Secado Propiamente Dicho**

En este período se pondrán en marcha los programas para las especies de madera que se vayan a secar.

El proceso debe comenzar con las condiciones ambientales correspondientes a la humedad inicial de la madera indicadas en los programas. Los parámetros a utilizar dependen del equipo de control que posea el secadero y pueden contemplar las siguientes variables:

Temperatura (T), Humedad relativa (HR), Humedad de Equilibrio Higroscópico (HEH) y Gradiente de secado (GS).

Se recomienda no secar exclusivamente por GS, hasta no manejar bien las otras variables, porque la ocurrencia de defectos puede ser grande.

El procedimiento de utilización de los programas de secado depende del contenido de humedad de la madera y su espesor, ya que estos parámetros, son los que indican el momento en que corresponde hacer variar las condiciones de clima dentro del secadero.

Si la madera ha tenido un oreo o presecado a la intemperie, es conveniente, empezar el proceso en una condición de humedad superior a la que posee la madera. Este procedimiento se hace con el fin de minimizar el gradiente de humedad GH (Diferencia en el contenido de humedad entre el centro y la periferia de una misma pieza de madera) que se pudo haber generado en el secado a la intemperie.

En esta etapa es conveniente controlar el gradiente de humedad y que este no exceda los límites normales (2 – 4%) de tal manera de no generar defectos de secado.

➤ **Período de Acondicionamiento y Estabilización**

Esta etapa se inicia una vez que se ha arribado a la Humedad Final (HF) deseada y depende, básicamente, del tipo de producto y del lugar donde va a ser utilizado.

En ese momento se puede decir que la madera se encuentra seca pero no estabilizada.

Se debe seguir el siguiente procedimiento :

☞ La operación de estabilizado se inicia cuando el contenido de humedad de la madera más seca se encuentra con una humedad inferior al 2% respecto de la humedad final deseada.

☞ Se debe mantener dentro del secadero la última temperatura registrada en la etapa anterior o levemente superior (de no tener inyección de vapor o atomización de agua fría o un buen control de la presión de vapor que ingresa al secadero, es conveniente disminuir 10 °C respecto de la última temperatura, esto se debe tener en cuenta para no elevar peligrosamente la temperatura en esta etapa).

☞ Establecer una Humedad Relativa (HR) cercana a la saturación o lo que es lo mismo, una Humedad de Equilibrio Higroscópico (HEH) como mínimo 4% superior al valor medio registrado durante la etapa anterior.

☞ El tratamiento debe continuar hasta que se constate que no existe gradiente de humedad en la madera. Esta verificación se realiza mediante la elaboración de probetas estratificadas. La duración de esta etapa va directamente asociada a las tensiones generadas en el proceso de secado, pero en general, puede durar entre 8 y 48 horas dependiendo del espesor de la madera que se trate y de la destreza del operador de secado.

➤ **Etapas de enfriamiento**

El enfriamiento de la madera debe realizarse dentro de la cámara de secado, siguiendo el siguiente procedimiento:

☞ Finalizada la etapa de Estabilización se deben apagar todos los equipos excepto los ventiladores. Si el secadero lo permite, se debe mantener abierta la extracción de aire.

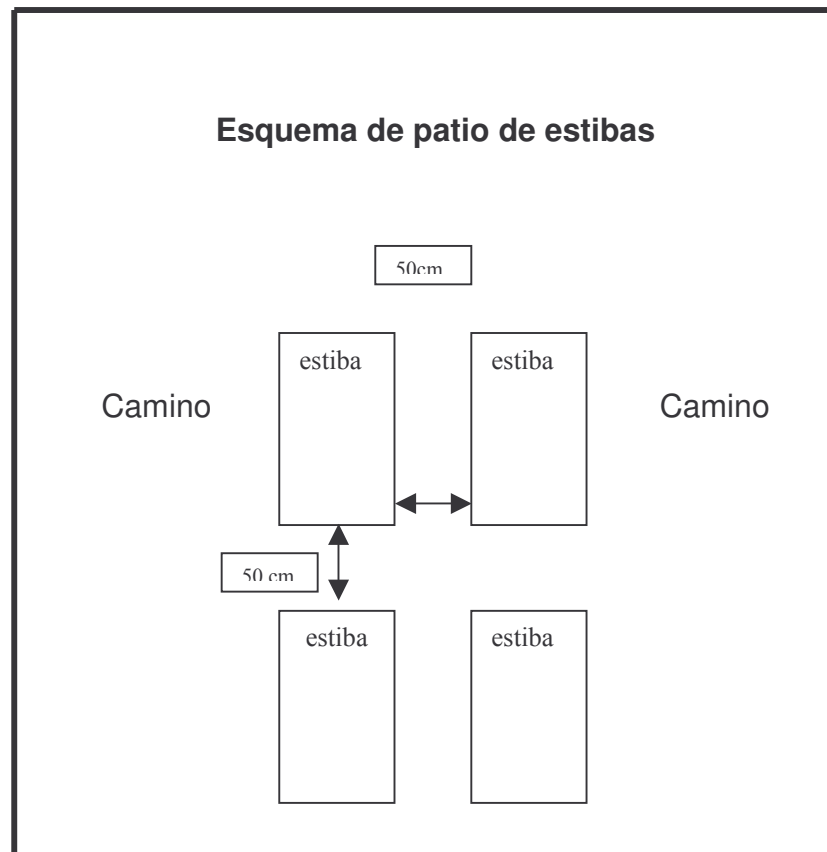
☞ Cuando la temperatura de la madera se va acercando a la temperatura exterior, se pueden abrir lentamente las puertas del secadero y luego retirarla.

☞ La madera debe ser depositada bajo techo y no debe ser utilizada hasta transcurrir, por lo menos, una semana de secada.

4.2. Patio de Estibas

- ✓ La playa o patio deberá tener buen drenaje de modo que no se produzca acumulación de agua de lluvia y, también estar libre de malezas o restos de tablas y tirantes que sirvieron de sostén y que se desprenden de pilas antiguas.
- ✓ El patio debe conservarse en buenas condiciones, especialmente la superficie de los caminos principales y secundarios.
- ✓ Cuando se desarman las pilas, los travesaños y los separadores deben mantenerse ordenadamente y en sectores adecuados para tal fin.
- ✓ Las calles principales y secundarias sirven como caminos de transporte y como zona de trabajo. La orientación de estos caminos deberá ser indicada en un plano y marcadas en el terreno, de manera que éstos corran en línea recta a lo largo del patio y los extremos estén abiertos.
- ✓ La orientación de las pilas de madera debería ser Norte – Sur, salvo en zonas donde existan vientos predominantes e intensos.

- ✓ El espaciamiento entre las pilas tanto entre dos pilas consecutivas como dos paralelas, debería ser de aproximadamente 50 cm.





- ✓ El ancho de la pila estimado para playa y secadero debería ser de 1,20 m, medida que se adapta perfectamente a ambas situaciones

4.3. Estibas de madera

La importancia de un correcto empalillado de las pilas de madera y la correcta disposición de las estibas de madera dentro del secadero, tienen una gran influencia en la calidad final de la madera seca.

La aparición de defectos de secado se debe en un gran porcentaje a un mal estibado.

La colocación de los separadores es una operación muy importante que debe ser hecha siguiendo procedimientos técnicos específicos.

4.3. Separadores

Los separadores son piezas de madera de sección rectangular y dimensiones variables de acuerdo al espesor de las tablas o tablones a secar.

Las características que deben reunir los separadores son:

- Perfectamente escuadrados.
- Preferentemente madera de corazón o duramen.
- Exenta del ataque de hongos o insectos.
- Madera seca.

Los separadores deben tener un espesor que dependerá del espesor de la madera a secar.

Espesor de la madera (mm)	Espesor del separador (mm)
Menos de 20	20
20 - 25	25
40 - 50	30
50 - 65	35
65 - 80	40
Más de 80	45

Los valores expresados en el cuadro anterior son orientativos. En general el espesor de los separadores no debe ser inferior a 20 mm ni superior a 50 mm.

El empleo de los separadores muy delgados tiene la ventaja de introducir mayor volumen en las cámaras de secado, pero tiene la desventaja de la defectuosa homogeneidad de secado a lo ancho de las pilas. Además, los separadores muy delgados son frágiles y se deben reponer con mucha frecuencia, también suelen marcar la madera.

De acuerdo al espesor de la madera, el distanciamiento de los separadores sobre una misma camada de tablas puede variar de la siguiente forma:

Espesor de la madera (mm)	Distanciamiento (m)
Hasta 30	0,30 - 0,40
30 - 50	0,40 - 0,70
Mas de 50	0,70 - 1,00

Para los casos en que la madera sea susceptible a deformarse, la distancia entre separadores no debe exceder de 0,30 m.

En el caso de que existan tablonos de diferentes longitudes es necesario introducir separadores suplementarios (no en exceso), a fin de no dejar sin soporte los extremos de las tablas.

Los separadores de los extremos deben coincidir con los extremos de las tablas.

Los separadores deben ser colocados perpendiculares a la dirección del hilo de la madera a secar y deben estar dispuestos los unos sobre los otros en una misma línea vertical.

Cuando se secan tablas de longitudes variables, la longitud de la pila debe responder a las dimensiones de las tablas más largas, que deberán ser ubicadas en la parte externa de la pila. Las tablas más cortas deben colocarse a nivel de uno de los extremos de la pila, alternando entre los dos extremos para asegurar un soporte suficiente y una buena distribución del peso.

Los separadores colocados en los extremos de las pilas deben formar un solo plano con la superficie transversal de las tablas; esta es una forma de controlar la aparición de rajaduras en los extremos ó la evolución de las existentes al retardar el secado en dichas zonas.

La alineación vertical de los separadores es una práctica indispensable para evitar deformaciones en las tablas.

Se recomienda la utilización de separadores más anchos en los extremos, a fin de evitar que se caigan cuando son movilizadas las estibas desde una playa de estibado hasta el secadero.

Cuando se estibe madera susceptible de rajarse en las cabezas, es conveniente hacer sobresalir los separadores de los extremos, esto reducirá la aparición de ese defecto y, por consiguiente, la pérdida por despunte de madera.

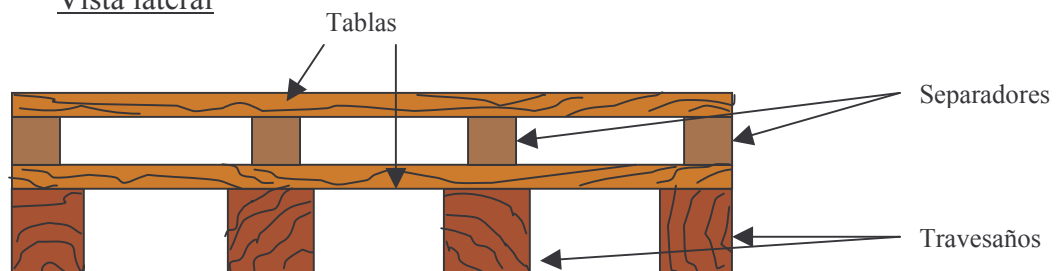
Cuando la pila se desarma, los separadores deben ser colocados en una pila o caballete, sobre piso de cemento y protegidos de la intemperie.

Como los separadores representan una inversión de capital importante, se aconseja cuidarlos.

4.4.Travesaños

- Para apoyar los paquetes y facilitar el ingreso de las uñas del autoelevador se deben utilizar travesaños de madera de sección cuadrangular y longitud igual al ancho de la pila.
- Los travesaños deben ser colocados en coincidencia con las hileras de los listones separadores durante el apilado de los paquetes y en cantidades suficientes, de manera de no curvar la madera depositada sobre ellos.
- Los travesaños deben respetar las mismas características que los separadores, por lo que deben ser: resistentes, durables y de buena estabilidad dimensional.

Vista lateral



4.5. Preparación de la carga

Es importante que las estibas dentro de la cámara permitan una perfecta circulación del aire, esto es posible si existe una coincidencia entre los espacios vacíos creados por los separadores. Cuando esto no ocurre, se genera turbulencia y, por consiguiente, el secado se retarda y no es eficiente.

Por efecto de la contracción de la madera durante el proceso de secado el espacio entre las pilas y el falso techo va aumentando. En algunos casos, estos espacios son bastante grandes y el aire tiende a colarse por ellos generando defectos de circulación de aire que pueden ser resueltos colocando postigos pendientes del falso techo.

En el caso de maderas muy susceptibles a deformaciones (eucaliptos, coihue, álamos, sauces, anchico, casuarina, grevillea, acacia, laurel, timbó, etc.), se aconseja colocar contrapesos sobre las estibas de madera a secar (500 a 1000 kg /m²).

La primera tarea que se debe desarrollar antes de iniciar el proceso de secado es la inspección de la carga de madera y, dentro de esta actividad, se deben considerar los siguientes puntos:

- Homogeneidad del contenido de humedad : hay que tratar que la diferencia de contenido de humedad no supere 10 % entre la madera mas húmeda y la más seca.
- Espesores y especies de madera: no se deben mezclar especies de madera ni espesores, pero en caso que se lo haga, hay que conducir el proceso teniendo en cuenta la situación más

desfavorable: mayor espesor, especies con mayor dificultad frente al proceso de secado.

- Estado fitosanitario de la madera: no se debe introducir dentro del secadero madera con podredumbres, atacada por insectos, manchada, etc..
- Calidad general de la carga: En todos los casos el resultado de la calidad de la madera seca depende del tipo de material que se introdujo en el secadero. Es importante verificar minuciosamente las particularidades de la madera tales como: presencia de médula, acebolladuras, rajaduras, grietas, fibra cortada, madera juvenil, corazón negro, etc..

4.6. Sistemas de control

Es importante que en las cámaras, el control del descenso de la humedad de la madera se realice a través de las sondas ubicadas estratégicamente en las pilas.

Para que esto sea posible es necesario contar con juegos de sondas

- compuestas por un par de electrodos - de repuesto que permitan su colocación cuando se arman las estibas de ingreso al secadero.

Los electrodos que se ubican en la madera pueden ser comunes o recubiertos (por ejemplo: con película de teflón ó plástico) estos últimos pueden tener longitudes que no se correspondan con el espesor de la madera, ya que al estar, recubiertos sólo registran la humedad en el extremo del electrodo. En el caso de electrodos comunes, deben ser

introducidos en su totalidad en la madera. La medición debe ser realizada en la zona de los $\frac{2}{3}$ del espesor.

Los electrodos deben ser colocados de a pares en sentido perpendicular a la fibra de la madera, con un distanciamiento entre 25 – 30 mm y, preferentemente, en el centro de la tabla. .

En espesores mayores de 40 mm y maderas difíciles de secar, se debería medir en la zona de $\frac{1}{3}$ y $\frac{2}{3}$ del espesor para lo que se necesitará que las cámaras posean más sondas, o sondas especiales para medir gradientes.

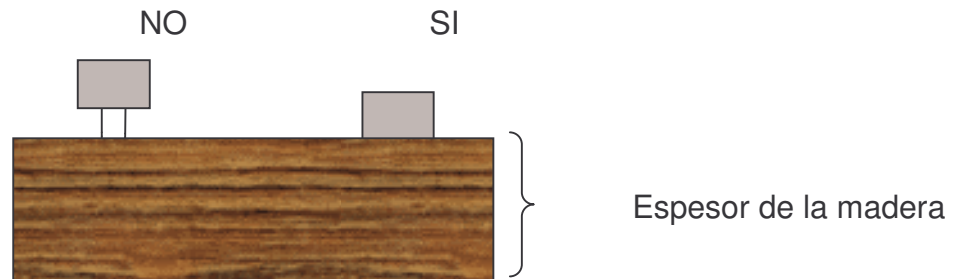
Es conveniente, cuando se cuente con equipamiento de laboratorio (balanza y estufa) colocar tablas testigos de control (por peso seco) para comparar con los valores de las sondas.

La inspección de las sondas de temperatura, humedad relativa, humedad de equilibrio higroscópico y contenido de humedad de la madera, deben ser una práctica permanente y minuciosa. Se recomienda disponer de instrumentos o sistemas que permitan la calibración periódica de las sondas y sistemas de regulación.

Las sondas de humedad de madera deberían ser colocadas en la pila de madera fuera del secadero de manera que sea un trabajo planificado y criterioso.

Los electrodos deben ser colocados sobre la cara de la pieza testigo y hasta la zona de los $\frac{2}{3}$ del espesor, no deberían ser clavados en la madera. El procedimiento correcto es realizar orificios con un taladro manual y una mecha de igual diámetro que el electrodo y luego introducir en esos orificios los electrodos.

Para registrar correctamente los valores de humedad de la madera los electrodos que no son recubiertos deberían introducirse en su totalidad en la madera.



Las tablas testigos de control de humedad de la madera se seleccionarán de forma tal, que sean representativas del lote a secar (contenido de humedad de la madera, presencia de albura, tipo de corte, etc..) y de las diferentes posiciones, evitándose colocar testigos sólo en las zonas periféricas. Se debe mantener el criterio de distribución de sondas en altura y en toda la superficie del secadero.

Se deben utilizar electrodos cuya longitud se corresponda con el espesor de la madera. No se deben colocar en una misma pieza de madera electrodos que tengan diferentes longitudes.

Luego de cada proceso de secado se debe verificar el estado de los cables de conexión de los electrodos de medición de humedad de la madera.

Temperatura: se controlan con sondas del tipo Pt100 (pirómetros de resistencia con sondas de platino, resistencia de 100 ohm). Se debe controlar que estas sondas no estén deterioradas, en caso de que esto ocurra, deben ser reemplazadas.

Humedad: se controlan con sondas eléctricas basadas en la medición de la humedad de equilibrio de chapas de madera o celulosa colocadas dentro del secadero. Estas sondas no son más que elementos que miden la resistencia eléctrica de la madera húmeda y requieren, como único

mantenimiento, el cambio regular de las mismas (una por cada proceso de secado).

Reglas generales de acción para actuar en situaciones anormales			
SI SE CONSTATA		ES NECESARIO ACCIONAR SOBRE	
Temperatura	Humedad	Llegada de humedad	Llegada de calor
Muy Baja	Muy baja	Aumentar	Mantener constante
	Conveniente	Aumentar ligeramente	Aumentar
	Muy elevada	Mantener constante	Aumentar
Conveniente	Muy baja	Aumentar	Disminuir ligeramente
	Muy elevada	Disminuir	Aumentar ligeramente
Muy elevada	Muy baja	Mantener constante	Disminuir
	Conveniente	Disminuir ligeramente	Disminuir
	Muy elevada	Disminuir ligeramente	Disminuir

4.7. Otros controles

- Para controlar la humedad relativa de los secaderos o la respuesta de los sensores de humedad es conveniente contar con un Psicrómetro como instrumento auxiliar.
- Se debe realizar un chequeo de funcionamiento del secadero en vacío cada vez que se concluya un proceso, de manera de detectar fallas y corregirlas rápidamente.
- Antes de introducir la madera a los secaderos se debe verificar la correcta disposición de la carga y los sensores.

- Se debe llevar un cuaderno de novedades del secadero y acciones que se desarrollan durante cada proceso. Esta indicación debe completarse rigurosamente.
- Cuando se posea equipos de laboratorio u organismos técnicos externos cercanos para realizarlos se deben sacar muestras de madera para la determinación de contenidos de humedad por método de balanza y estufa. También se deben elaborar probetas estratificadas para cuantificar valores de tensiones y probetas tenedores, estas últimas en forma opcional.
- En algunos casos se puede llevar el secado a la intemperie hasta un máximo de 30% de humedad de la madera, para luego someterla a secado técnico. En este caso, se deberá evaluar tiempos y costos.

4.8. Recomendaciones generales

- Se debe brindar una adecuada capacitación técnica al personal afectado a la conducción del secado.
- No es conveniente conducir programas de secado por tiempos, por lo menos, hasta no tener seguridad sobre conducción de secado por programas. No hay que perder de vista las características de la madera y los valores de contenidos de humedad media de la misma, ya que es la única información que se utiliza para hacer variar las condiciones de temperatura y estado higrométrico a lo largo de toda la operación de secado.
- La duración del secado considerada por todos como lo más importante, no es algo más que secundario, sobretodo, si se desea

obtener madera de calidad. Es importante considerar que dentro del secadero existen grandes volúmenes de madera que representan un capital importante y sería insensato convertir ese material en inutilizable bajo pretexto de ganar algún tiempo en una operación que dura varios días.

4.9. Tratamientos durante el proceso de secado

Durante el proceso de secado propiamente dicho puede observarse la aparición de algunos defectos tales como grietas superficiales, alabeos y tensiones, que pueden superarse realizando cambios en las condiciones del proceso.

Grietas superficiales: Cuando se constate la aparición de grietas superficiales se debe humidificar ligeramente la superficie de la madera, procediendo a aumentar la temperatura de 5°C a 10°C y llevando el estado higrométrico a 85% – 90%. La duración de la operación es variable pero está en el orden de 30 m a 60m. Se suspende la operación cuando las grietas se vuelven a cerrar. Si ocurriera que las grietas fueran profundas, el estado higrométrico no se puede exceder el mínimo de 80% – 85% y la duración del proceso debería ser más largo.

Tensiones: Si en la etapa de secado y, durante algunas horas, por alguna causa se comprueba disminución del estado higrométrico a valores bajos, es probable que esta se generen tensiones que ocasionen grietas internas. Esto se puede detectar elaborando probetas de tensiones o tenedor. Se corrige el problema aumentando el estado higrométrico a 100% sin elevar el calentamiento. La duración del proceso es variable y sólo debe suspenderse cuando se verifique la desaparición de tensiones.

Colapso: En el caso de los **saucos, eucaliptos, coihue,** es conveniente reconocer este defecto y la forma de corregirlo.

Por encima del punto de saturación de las fibras, la tensión capilar es la responsable de los esfuerzos que se presentan en la madera y, en condiciones extremas, pueden producir el aplastamiento celular conocido como colapso. Este defecto se produce por el aplastamiento de las cavidades o lúmenes de las células que componen la madera, a diferencia de la normal, que se produce por una contracción en el espesor de las paredes celulares.

El colapso celular es la consecuencia del secado rápido de la madera con un contenido alto de humedad, donde todas las cavidades celulares están completamente llenas de agua libre y donde faltan burbujas de aire que regularmente se encuentran en las células. Este fenómeno puede ser observado en el secado en playa cuando las condiciones climáticas son muy severas.

Las contracciones, tanto en el sentido tangencial como radial, afortunadamente pueden corregirse mediante un acondicionamiento con vapor saturado.

El éxito del tratamiento de acondicionamiento del colapso depende, exclusivamente, de la aplicación de vapor.

Se recomienda seguir los pasos detallados:

- Cuando el colapso es poco rebelde se aconseja una vaporización a 85°C. Cuando el colapso es muy difícil de eliminar y muy generalizado se deberá aplicar una temperatura de vaporización de 100°C. En general por el tipo de corte la gran mayoría de las tablas es tangencial por lo que es conveniente utilizar temperaturas de vaporizado de 82°C.
- La inyección de vapor libre (vaporización) a la temperatura sugerida, debe realizarse cuando el contenido de humedad de la madera sea de entre el 14%-18%, durante 4 horas aproximadamente para madera de 25 mm de espesor.

- Es conveniente, una vez finalizado el acondicionamiento, enfriar la madera, antes de seguir con el secado de la misma hasta la humedad final deseada.

4.10. Verificaciones que se deben realizar antes de comenzar cada proceso de secado

- Funcionamiento correcto de válvulas.
- Funcionamiento correcto de bombas.
- Funcionamiento correcto de ventiladores.
- Limpieza de termómetros, cambio de la chapa de celulosa/madera que controla HR/HEH de la cámara.
- Estado general de las instalaciones.
- Limpieza del piso del secadero.
- Caldera: limpieza y control de funcionamiento según las rutinas descritas en este documento.
- Estibas: coincidencia de los separadores y sus respectivos travesaños; colocación de los sensores de humedad de la madera.

4.11. Controles durante el proceso

- Registro de datos del proceso y su coincidencia con los programas establecidos para la madera que se está secando.
- Control de defectos en la madera (alabeos, microgrietas, grietas y rajaduras).
- Control de tensiones.
- Control de gradientes de humedad (entre maderas diferentes y en la misma madera.
- Control de colapso (en especies susceptibles a este fenómeno).

5. Mantenimiento de madera seca

- La madera secada debe ser enfriada en el secadero y utilizada luego de transcurridos, por lo menos cinco días de finalizado el proceso de secado.
- La madera secada debe ser almacenada en tinglados cubiertos y secos. Es conveniente conservarla estibada con separadores hasta su procesamiento, si la madera va a ser procesada a un contenido de Humedad de Equilibrio Higroscópico (HEH) de la zona. Si el material se seca a contenidos de HEH inferiores al de la zona, se debe almacenar sin separadores.
- La madera secada a menos de 10% de humedad final puede retomar humedad durante el almacenamiento bajo condiciones de elevada humedad relativa dentro de los tinglados. Si esto ocurriera, se deberían acondicionar los ambientes para eliminar ese riesgo.
- Las pilas de madera seca deben ponerse a cierta altura por encima del nivel del piso.
- La madera seca debe ser apoyada sobre travesaños en cantidades suficientes para evitar que se ocasionen torceduras en las maderas por flexión.
- El depósito de madera seca debe estar limpio y ordenado.
- Las estibas tendrán que ser identificadas mediante fichas que contengan la información suficiente para permitir una logística ordenada.
- El manipuleo de la madera debe ser tal, que su práctica no introduzca defectos al material. Se deben evitar golpes y/o descargas a granel, que provoquen un impacto violento sobre las piezas de madera.

6. Características constructivas

6.1. Cámara de secado

Existen algunas opciones constructivas:

- Cámaras totalmente de aluminio (A)
- Cámara de paredes de mampostería, portones y techo de aluminio (MTA)
- Cámara enteramente de mampostería (M)



Secadero de Aluminio



Secadero de aluminio



Secadero de aluminio



Secadero de mampostería con techo de aluminio



Secadero de mampostería con techo de aluminio



Secadero de mampostería

El modelo A, los portones y techo del MTA y los portones del M, están compuestos por una doble pared de aluminio y alma de material aislante, con coeficiente de transmisión térmica por conductividad que no supera $0,04 \text{ kcal /m h } ^\circ\text{C}$, lo que los hace altamente aislantes del calor entre las dos superficies.

Los secaderos de mampostería aunque superen los 300 mm de espesor, sólo tienen el 50% del valor k_{total} comparado con la pared (100 mm) de un secadero metálico moderno.

Todas las versiones a excepción de los secaderos pequeños presentan la posibilidad de tener portones de carga frontal o lateral de aluminio, que garantizan una perfecta hermeticidad. Esta opción depende de los espacios disponibles y del volumen de madera a secar.



Secadero de carga frontal



Secadero de carga lateral

También poseen puertas de servicio o inspección que se utilizan para el control del material en proceso de secado, mantenimiento o reparación de imprevistos. Estas puertas, independientemente del material de que sean construidas las cámaras, son de aluminio, provistas de un sistema de apertura - cierre de accionamiento interior/exterior, para garantizar la seguridad del personal que trabaja en las instalaciones.

El techo del secadero también posee dos soluciones en la construcción tradicional que pueden ser: de mampostería, opción para los secaderos pequeños, o metálico hecho de componentes como un secadero de metal.

Internamente los secaderos poseen un cieloraso o falso techo que separa la zona de carga del entretecho, donde se ubican los elementos que componen el

sistema de circulación de aire (motoventiladores) y los elementos del sistema de calefacción.



Las fijaciones de la estructura o a la estructura se deben realizar con bulones de acero inoxidable para evitar oxidaciones, producto de los ácidos que se desprenden durante el proceso o corrosión galvánica con el aluminio.

El piso del secadero debe ser de hormigón para soportar condiciones de temperaturas hasta 90°C, humedad de 100% y clima agresivo por los ácidos y otros elementos que salen de la madera. Es imprescindible que posea un declive de 1%, cómo mínimo de manera de eliminar el agua de condensación.

7. Equipos componentes

7.1. Dispositivos para el Control y Regulación

Los conocimientos tecnológicos y la capacidad de los equipos de control tienen por objetivo manejar las condiciones climáticas y de funcionamiento de manera precisa, con el objetivo de que la madera sea secada en tiempos óptimos y con la calidad requerida.

El sistema de control de secadero puede realizarse a partir de controladores / registradores cuyas características varían básicamente en la mayor o menor automatización de los mismos, y en la respuesta que estos tienen sobre los sistemas que controlan.

A partir de ellos se puede controlar apertura y cierre de válvulas, apertura y cierre de chimeneas, humedad de equilibrio higroscópico, temperatura, humedad de la madera, gradiente de humedad, tiempos de proceso, etc..

Pueden tener salida a una PC, para registrar los datos o bien ser comandados por un software.

7.2. Sistema de ventilación

Esta compuesto por conjuntos motoventiladores de funcionamiento reversible, formados por un ventilador axial construido en los equipos de mejor performance en fundición de aluminio de alta resistencia, con capacidad de aire igual en las dos direcciones (reversibilidad del 100%) y un motor apto para trabajar en ambientes corrosivos y alta temperatura.

Este conjunto está vinculado a la estructura del secadero a través de una viga de ventiladores construida en aluminio con bulonería de acero inoxidable.



Las toberas de soplado y las chapas deflectoras son de aluminio.

El diámetro de los ventiladores, la potencia y el número de los motores depende del volumen de madera a secar y la especie de madera de que se trate. Es importante destacar que un buen cálculo de la ventilación necesaria es sinónimo de un buen secado, ya que ésta juega un rol muy importante durante el desarrollo del proceso respecto a la velocidad de secado y, en la etapa de estabilización, la homogeneización de la humedad de la carga.



7.3. Sistema de calefacción

Se utilizan radiadores que se alimentan con vapor a baja presión y la regulación del sistema se efectúa con válvulas modulantes motorizadas que permiten una mínima histéresis en la temperatura del proceso.

Este conjunto está formado por:

- Radiadores compuestos de tubos aletados bimetálicos localizados en la parte superior, formado por tubos bimetálicos con aletas elaboradas a partir de un tubo de aluminio en un proceso especial de laminado y perfilado en frío (tubo central de acero al carbono ó acero inoxidable y aletas de aluminio). El diámetro exterior de las aletas de 56 mm, y el diámetro interior de 21 mm, garantizan un eficiente intercambio de calor, baja caída de presión del aire a través de ellos y una excelente resistencia a la corrosión, siempre que se trate adecuadamente el agua de alimentación de las calderas.



- Válvula de control de vapor modulante que permite su apertura y cierre en forma progresiva, lo que evita golpes de ariete, la caída brusca de la presión de la caldera y uniformidad de temperaturas.
- Trampas de vapor a flotador, provistas de filtro “Y” y visor con mirilla que permite verificar el funcionamiento del conjunto.

7.4.Sistema de humidificación

El conjunto de vaporizado esta constituido por los siguientes elementos:

- Válvula de control de vapor reductora de presión, funcionamiento con comando eléctrico y accionamiento a piloto de vapor, que permite la vaporización a baja presión sin incrementar los valores de temperatura dentro de la cámara.



Válvulas
Electroválvulas
Sistema de control proporcional



- Vaporizado mixto: Este sistema permite mantener equilibradas las temperaturas nominales respecto de las temperaturas reales de la cámara. En la mayoría de los secaderos es muy difícil poder mantener las temperaturas nominales cuando se vaporiza. Generalmente, en esas circunstancias, se produce una elevación de la temperatura que se suma al calentamiento generado por los intercambiadores, provocando habitualmente algún tipo de defectos en la madera.

El sistema de vaporizado mixto permite atomizar agua fría en la línea de vapor, lo que hace disminuir la temperatura del mismo eliminando la posibilidad de sobrecalentamiento.



7.5. Ventiletes

Conexión tubular de aluminio con varillaje de regulación y bulonería de acero inoxidable, comandados por un servomotor de accionamiento eléctrico que permite la apertura y cierre en forma progresiva, son aptos para trabajar a la intemperie.



7.6. Tablero eléctrico

El tablero eléctrico esta previsto para la distribución de la potencia y el mando de todos los dispositivos eléctricos , motores y otros equipos. Las salidas de los motores corresponden en la cantidad y en la potencia a los motores .

El cableado para las conexiones entre motores y tablero se realiza con cable siliconado para alta temperatura.

8. Operaciones de Mantenimiento

8.1. Cámara

Se debe verificar periódicamente el estado de los burletes de goma que sellan los portones y en caso de ser necesario, reemplazarlos. Es importante la hermeticidad de la cámara para mantener el clima adecuado al proceso de secado.

8.2. Sistema de Calefacción

☞ **Calefactor de tubos aletados:** limpiar mediante sopleteado con aire comprimido para evitar adherencia de aserrín y polvo. Efectuar esta operación dos o tres veces por año.

☞ **Válvula de control de vapor:** controlar la apertura y el cierre mediante el accionamiento manual. Mantener limpio el filtro de entrada de vapor.

☞ **Trampas de vapor:** el funcionamiento puede ser verificado a través del visor con mirilla. Es correcto si la descarga de agua se efectúa durante un lapso y después cesa en forma total durante unos segundos , para continuar después.

☞ **Tubería de conducción:** Controlar la existencia de pérdidas, especialmente en uniones con bridas. Proceder a ajustar las mismas o de ser necesario, cambiar las juntas. El ingreso de vapor dentro de la cámara proveniente de un sistema ajeno al equipo produce cambios no deseados en el clima del secadero.

8.3. Sistema de Humidificación

☛ **Válvula de control de vapor:** controlar la apertura y el cierre mediante el accionamiento manual. Si persiste el paso de vapor a pesar de estar la válvula cerrada, controlar la presencia de partículas o deterioro de los asientos.

☛ **Tubería de conducción:** verificar que los orificios de salida de vapor dentro de la cámara no estén tapados. De la misma forma que para la tubería de calefacción, controlar pérdidas de vapor.

8.4. Sistema de Ventilación

Los motores eléctricos merecen una especial atención. Deben estar diseñados para trabajar en ambientes corrosivos, alta temperatura y humedad del 100%. Las exigencias del ambiente, el trabajo continuo y las inversiones de marcha, lo convierten en un elemento crítico dentro de la instalación.

Es común es que se queme el bobinado por bloqueo de los rodamientos.

Los motores no vienen provistos de niples para lubricación externa. Por lo tanto anualmente, se aconseja, desarmarlos para limpiar los rodamientos, verificar su estado y engrasarlos nuevamente. Es necesario usar grasa para altas temperaturas; en caso de recambio usar rodamientos adecuados (clase C3).

Para desmontar el ventilador utilizar extractor para evitar roturas.

En caso de tener que rebobinar un motor, se deben utilizar barnices para aislación clase "H".

8.5. Ventiletes

Mensualmente es necesario verificar que la apertura y cierre de los registros de los ventiletes se haga en forma total, uniforme y suave. El servomotor que los comanda se desacopla mientras está apretando el botón que tiene en la carcasa.

De este modo las barras que unen los ventiletes se puede girar 90° en forma manual. Efectuando ese movimiento en forma alternativa - varias veces - se puede constatar si trabajan correctamente. En caso contrario revisar los bujes de los ejes y la alineación.

Desde el controlador de secado, seleccionando el modo “manual”, se pueden abrir y cerrar los registros. De esta manera, desde dentro de la cámara, se puede controlar el funcionamiento del servomotor cada dos o tres ciclos de secado.

8.6. Tablero eléctrico

Para efectuar cualquier trabajo, cortar el seccionador correspondiente. Se debe verificar los planos eléctricos.

Se recomienda, periódicamente, verificar el ajuste de terminales, fusibles y otros componentes.

9. Procedimientos de mantenimiento de la caldera

El agua de alimentación de la caldera debe ser tratada.

9.1. Rutina diaria

- Verificar el correcto funcionamiento de las dos bombas de alimentación de agua.

- Verificar el nivel de agua del tanque de alimentación, válvula control de nivel electrónico y nivel visual.
- Verificar la operación del magnetrol, para asegurar el correcto nivel de agua en la caldera. (Purgar 2 veces por día).
 - Accionamiento de la bomba de alimentación. Arranque y parada en forma diferencial.
 - Nivel mínimo de seguridad, detiene la caldera.
- Realizar purga de niveles visuales de agua, revisión ocular de rotura de vidrio y pérdidas en conexiones y válvulas.
- Control de llama (piloto y quemador)
 - Verificar el perfecto funcionamiento de la célula ultravioleta. Al tapar el sensor, deberá parar la caldera.
 - Controlar la varilla de ionización. Su actuación debe detener totalmente el funcionamiento, dando alarma. Deberá desconectarse la varilla para provocar su actuación.
 - La llama del quemador no debe tocar las paredes del hogar, tener color azul rojizo y no separarse de la boquilla.
- Verificar protección de bajo nivel de agua de la caldera.
 - Controlar el funcionamiento del sensor capacitivo (detector electrónico). Se deberá purgar el tubo

de vidrio y el sensor, al no ver agua, se debe apagar la caldera.

- Controlar el funcionamiento del electrodo de nivel o bujía.

- Purga de fondo de la caldera.
Es conveniente efectuar la purga de fondo en el intervalo de parada del quemador, con la presión de trabajo.

- Verificar el funcionamiento de la alarma acústica y luminosa en el tablero.

- Controlar la presión de trabajo, verificar que se produzca el apagado del quemador principal.

- Verificar la ausencia de gas combustible en la sala del generador y/o pérdidas en válvulas y conexiones.

- Control de combustión. Verificar secuencia de encendido, barrido piloto y quemador.

9.2. Rutina semanal

- Verificación de los controles de presión
 - Presostato operativo
Se controlará que actúe a la presión de trabajo
 - Presostato de seguridad
Deberá reproducirse su actuación a una presión superior al operativo, en caso de falla de éste. (La prueba debe hacerse anulando el presostato de operación).

- Verificar el funcionamiento de manómetros de combustible, agua y vapor.

- Controlar el funcionamiento del equipo de tratamiento de agua de alimentación al generador y calidad de la misma (deberá ser blanda con bajo contenido de sales de calcio y magnesio).
- Verificar actuación de control por falta de aire de combustión.
Revisar ventilador para inyección de aire forzado y compuertas.
Limpiar la toma de aire y el servicio normal del motor del ventilador.
- Verificar pérdidas en cañerías de gas, accionamiento del solenoide del piloto y el quemador.
Verificar pérdidas en las cañerías de alimentación del agua, empaquetadura de bombas de alimentación y válvulas.

9.3. Rutina Mensual

- Controlar la instalación en general para asegurarse del suministro de leña, gas, gas - oíl y agua.
- Realizar cambios de filtros, limpieza, lubricación y ajuste de las partes móviles de los equipos auxiliares y verificar su correcto funcionamiento.
- Verificar actuación de presostato de alta y baja presión de gas combustible, en el circuito de alimentación del quemador.
Indicación de manómetros con valor nominal de presión de trabajo a mitad de escala.

9.4. Rutina semestral

- Verificar el timbrado de las válvulas de seguridad.

9.5. Rutina Anual

- Revisión interna para establecer incrustaciones, corrosión, barros, etc.
- Revisión externa ocular, para detectar corrosión, fisuras o deterioro de la aislación. De acuerdo a lo observado, se realizará mediciones de espesor, rayos x, etc.

Realización de la prueba hidráulica, a la presión correspondiente.

- Revisión general de los elementos de operación e instrumentos de control.
- Verificación general de funcionamiento, eficiencia térmica y seguridad de la unidad.

10. Metodología para la determinación del contenido de humedad de la madera.

Se exponen a continuación dos métodos para la determinación del contenido de humedad.

A– Método de secado en estufa

A - 1.-Materiales necesarios:

A-1-1.-balanza con exactitud de centésima de gramo

A-1-2.-estufa eléctrica con regulación térmica, capacidad de trabajo: $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

A-1-3.-deseccador de laboratorio

A- 2.-Procedimiento:

A-2-1.-Obtención de muestras:

Se obtienen muestras prismáticas de la pieza de madera a ensayar, de aproximadamente 20mm de lado. La extracción se realiza aproximadamente a 1/5 del espesor de la pieza. En caso de espesores reducidos (menores a 20mm), se tomarán las muestras en todo su espesor. En todos los casos se cortará las muestras a no menos de 500mm de uno de los extremos y aproximadamente a la mitad del ancho (si se tratara de piezas cortas, se tomarán las muestras en la mitad de su largo). El número de muestras estimado debe ser entre 4 y 6.

A-2-2.-Pesada de muestras:

Las muestras extraídas se pesan y se llevan a estufa a temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por un tiempo aproximado de 24 horas. Se retiran las muestras, se dejan enfriar en un desecador y se pesan. Se colocan nuevamente en estufa y a las dos horas se vuelven a pesar, repitiendo esta operación hasta constatar peso constante.

A-2-3.-Determinación del contenido de humedad. Expresión de los resultados.

Para obtener el contenido de humedad se aplica la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

%H : contenido de humedad de la madera expresado en porcentaje

Ph : peso inicial de las muestras

Ps : peso final de las muestras

B – Método eléctrico:

B-1.-Materiales necesarios:

Xilohigrómetros, de lectura directa, con selector de ajuste por temperatura, y selector por grupos de madera, con sus correspondientes accesorios (porta electrodos y electrodos).

B-2.-Procedimiento:

B-2-1.-Se ajusta el instrumento a la temperatura y al grupo de madera que corresponde.

B-2-2.-Se clavan los electrodos en la muestra de madera a ensayar, en sentido transversal al largo de la pieza. La longitud útil de los electrodos debe estar comprendida entre $1/3$ y $2/3$ del espesor de la pieza.

Luego se conecta al instrumento.

La zona de medición de la muestra: responde a lo establecido en I-2-1.

B-2-3.-Determinación del contenido de humedad.

Mediante lectura directa, se determina el contenido de humedad expresado porcentualmente.

B-3.-Calibración:

Los instrumentos utilizados en el método eléctrico para la determinación de humedad en la madera, deberán ser calibrados por lo menos una vez al año, salvo que se constate mediciones erróneas en menor lapso de tiempo.

C - Métodos- opciones

Cualquiera de los métodos propuestos en el punto I y II pueden ser utilizados con el fin de medir humedad. En los casos en que se observe variaciones importantes en los valores obtenidos por los métodos propuestos, se recomienda optar por el método I de secado en estufa.

D - Normalización:

Los métodos de secado en estufa y el método eléctrico se encuentran descriptos en la Norma IRAM 9532 "Maderas - Métodos de determinación de la humedad" .

E - Humedad de Equilibrio Higroscópico:

A fin de facilitar la decisión sobre el contenido de humedad de la madera apto para determinada condición de Temperatura y Humedad Relativa ambiente se podrá utilizar el gráfico N°donde se define una humedad de equilibrio higroscópico para cada condición ambiental.

HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCOPICO EN FUNCION DE LA TEMPERATURA Y DE HUMEDAD RELATIVA

Temperatura (°C)		10	15	20	30	40	50	60	70	80
Humedad Relativa (%)	90	22.0	22.0	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0	15.5
	80	17.0	17.0	16.5	16.0	15.0	14.5	13.4	12.5	12.0
	70	14.0	13.5	13.0	13.0	12.0	11.5	11.0	10.0	9.0
	60	11.5	11.5	11.0	10.5	10.0	9.5	9.0	8.0	7.5
	50	9.5	9.5	9.5	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.0
	40	8.0	8.0	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0

	30	6.0	6.0	6.0	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0
	20	4.5	4.5	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5
	10	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5

11. Elaboración de separadores y probetas de control

a) Separadores:

Sobre este tema se deben considerar tres aspectos:

- Elaboración de separadores.
 - Dimensiones de separadores.
 - Ubicación de separadores.
- Elaboración de separadores: Los separadores son piezas de madera que permiten crear espacios suficientes como para que el aire circule entre la madera a secar. Generalmente son de madera de duramen, de sección rectangular o cuadrangular y dimensiones variables de acuerdo a las piezas a secar. Deben reunir las siguientes características: madera perfectamente escuadrada, preferentemente madera de duramen, exenta de ataques de hongos o insectos, madera seca.
 - Dimensiones de separadores: Los separadores tendrán dimensiones que dependerán del espesor de las tablas a secar. En general este no debe ser inferior a los 20 mm ni superior a 50 mm. Se dan a continuación dimensiones de separadores en función de espesores de maderas:

Espesor de la madera (mm)	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
Espesor de los separadores(mm)	20	20	25	30	35	35	35	40	40	45	45

- Ubicación de separadores: La distancia entre separadores sobre una misma camada de tablas puede variar entre 0,30 a 1,00 m, pudiendo adoptarse la siguiente regla:

Para madera de mas de 50 mm de espesor	0,90 – 1,00 m
Para madera de 30 a 50 mm de espesor	0,60 – 0,90 m
Para madera de menos de 30 mm de espesor	0,30 – 0,60 m

b) Probetas de control:

Hay tres tipos de probetas de control que se pueden realizar antes, durante y después del proceso de secado y son:

- 1) Probetas de humedad.
- 2) Probetas de tensiones o "tenedores".
- 3) Probetas estratificadas.

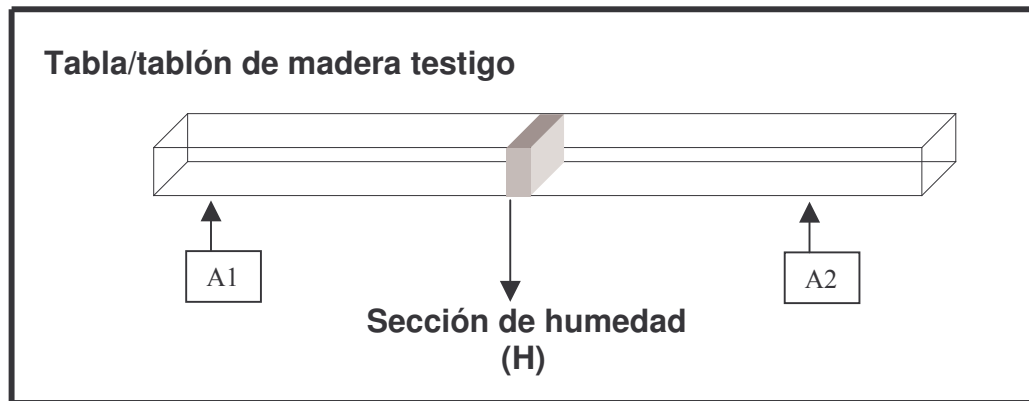
1) Probetas de humedad: Es necesario la determinación del contenido de humedad de la carga de madera a fin de establecer en que punto de la pauta o norma de secado se encuentra el material a secar. Para ello se toman del lote de madera de 4 a 6 piezas. De las tablas elegidas se descartan los extremos

(0,50 m) y se elaboran las secciones de humedad. Las dimensiones de éstas secciones de humedad serán:

Largo: igual al ancho de la tabla.

Espesor: de 2cm / 3 cm.

Ancho: igual al espesor de la pieza



Se tomarán varias secciones de humedad por pieza para luego determinar el valor promedio que se usará como humedad media del lote.

Una vez elaboradas las secciones de humedad se pesan en una balanza de precisión (P_h), luego se introducen en una estufa a $100 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta comprobar que no haya variaciones de peso en sucesivas pesadas. Se toma el (P_s) y por la fórmula siguiente se obtiene el contenido de humedad de cada probeta.

$$H (\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (I)$$

P_h = peso húmedo de la sección de humedad.

P_s = peso seco de la sección de humedad.

$H (\%)$ = porcentaje de humedad de la sección de humedad.

A partir de la fórmula (I) se puede determinar el peso seco de las probetas testigo, colocadas dentro del secadero y que forman parte del lote de madera a secar, mediante la siguiente fórmula:

$$Ps = \frac{Ph (A1 \text{ ó } A2)}{H (\%) + 100} \times 100 \quad (II)$$

Ps = Peso seco de la probeta testigo.

H (%) = Porcentaje de humedad obtenido de la sección de humedad.

Ph = Peso húmedo de la probeta.

Conociendo el Ps (Peso seco de la probeta testigo) se puede determinar el Peso húmedo a cualquier contenido de humedad de éstas, por aplicación de la siguiente fórmula:

$$Ph = H(\%) \times \frac{Ps}{100} + Ps \quad (III)$$

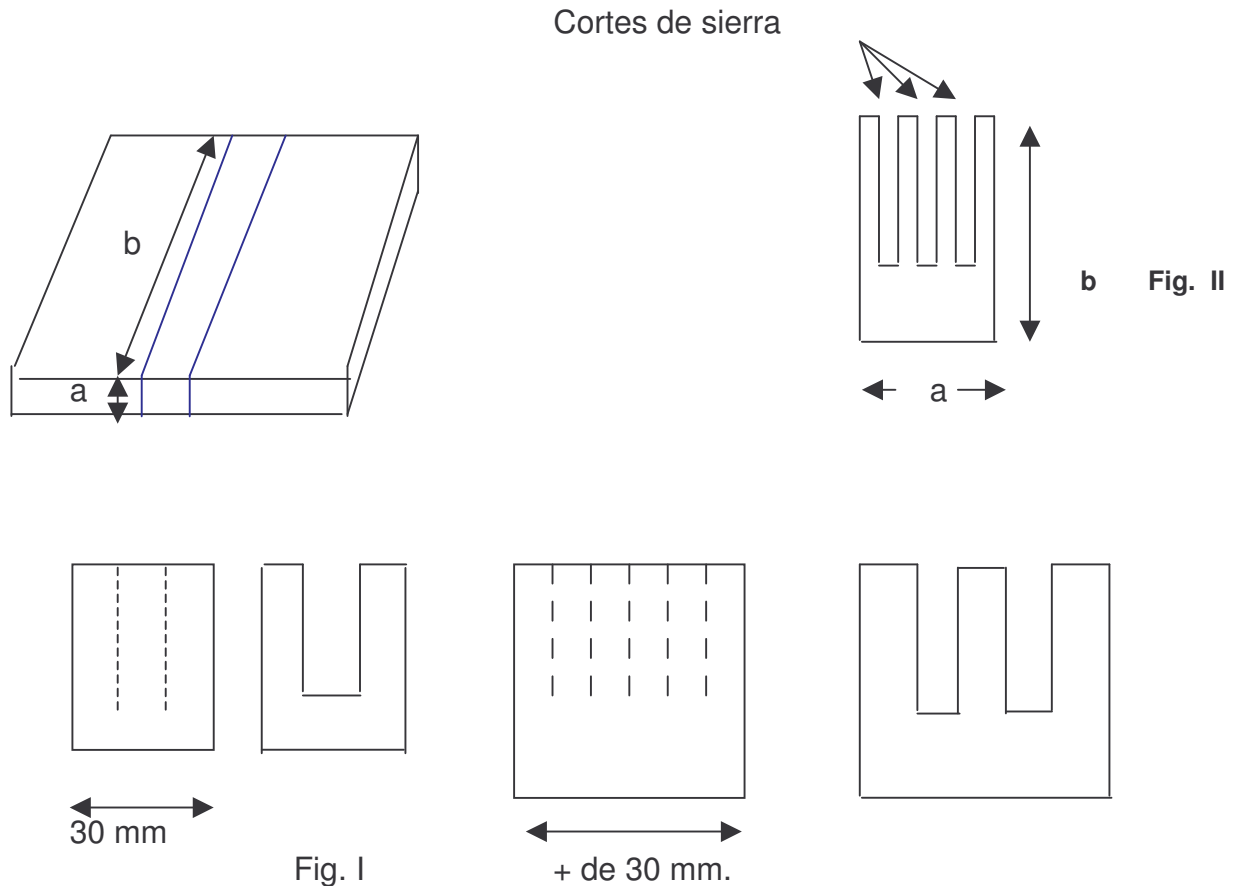
H (%) = contenido de humedad de la madera a la que se desea conocer el Ph.

Normalmente el peso seco se usa para determinar en cada etapa del proceso de secado el contenido de humedad que presenta la madera.

2) Probetas de tensión o "tenedores": El método usual para determinar la presencia de tensiones luego del tratamiento de estabilización o en cualquier momento del secado, es mediante la utilización de probetas de tensiones del tipo puntas de tenedor.

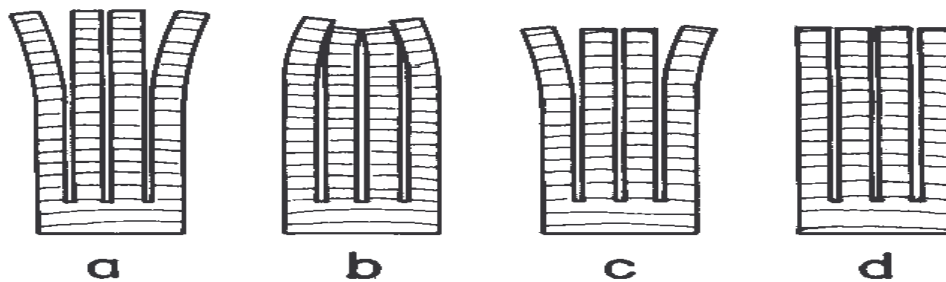
Las probetas pueden ser de varios tamaños y formas y de diversas dimensiones. Estas probetas deben ser cortadas por lo menos 50 cm del extremo de la madera, teniendo una longitud en dirección del grano de 25 a 30 mm. Estas secciones de tensiones serán cuidadosamente cortadas dependiendo el número de cortes del espesor de la madera. Los cortes deben realizarse hasta 2/3 de b como mínimo (Fig. II). Para aquel material, cuyo espesor sea menor de 30 mm se realizarán 2 cortes, siendo luego removido al corte central; para maderas de más de 30 mm se realizarán 5 cortes quedando

formado seis dientes siendo luego removidos los dientes segundo y quinto. También se pueden efectuar tres cortes de sierra como se indica en la figura I.



Cuando se ha realizado el estabilizado de madera para eliminación de tensiones al final del proceso de secado, el secadero debe permanecer cerrado con la carga en su interior y las muestras del secadero u otras tablas deben retirarse y probarse mediante la elaboración de este tipo de probetas.

Si en el momento del proceso que se elaboran esas probetas y cuando se efectúan los cortes de prueba, las puntas alejadas de la sección de prueba se doblan hacia afuera de la línea de la sierra, recorriendo una distancia igual que el grosor de la "punta", la madera está libre de tensiones y puede, en caso de haberse concluido el proceso, ser retirada del secadero y utilizada una vez que ésta se encuentre totalmente fría (24 – 48 hs). Si los dientes se curvan hacia adentro (incluso apretando la sierra) la madera contiene todavía tensiones y se

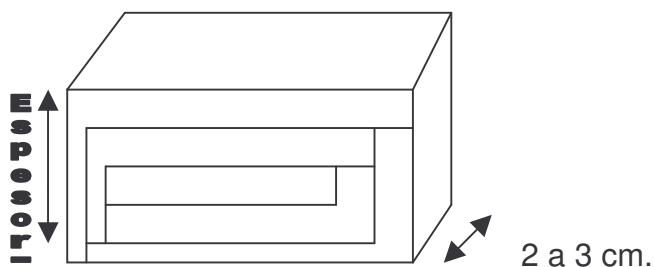


debe continuar con el tratamiento (vaporizado). Si la curvatura de los dientes es hacia afuera esto nos indica que la madera fue sometida a un estabilizado o inversión de tensiones demasiado prolongado. Este resultado determina que las cargas deben ser estabilizadas por un periodo de tiempo más corto.

- a: Inicio del secado
- b: Tensiones
- c: Tensiones revenidas con vapor
- d: Madera seca sin tensiones

3) Probetas estratificadas: Permiten conocer la distribución de la humedad en el interior de las tablas y el gradiente que presenta la madera seca.

De una muestra testigo de 2 a 3 cm de largo, tomada sobre la escuadría de la pieza, se corta en varias porciones, según se indica en la figura correspondiente.



La determinación del contenido de humedad de cada una de ellas indica la distribución de la humedad en el espesor, en los trozos A – B – C separadamente.

Se puede igualmente usar la fórmula:

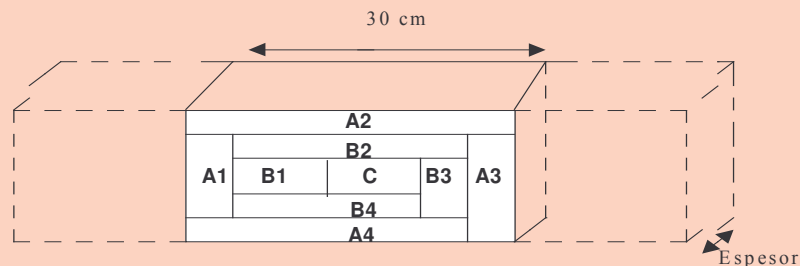
$$H_m = \frac{2}{3} (H_c + H_s)$$

Donde H_m es la humedad media y H_s humedad en la superficie conocida, dada por la mediciones de equilibrio higroscópico (H_{EH} y T) del secadero en ese momento. Se puede obtener H_c o humedad del centro:

$$H_c = \frac{3}{2} H_m - H_s$$

Conociendo el valor de H_c podemos conocer el gradiente de humedad que presenta la madera secada.

- a) Otra forma más práctica que la anterior para conocer el gradiente de humedad es realizar, mediante balanza y estufa, la determinación de porcentajes de humedad en diferentes zonas de una misma pieza de madera cortada. Ver gráfico N°.....

PROBETA ESTRATIFICADA

PROBETA nº	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	HUMEDAD (%)
A1			
A2			
A3			
A4			

Una vez conocido los porcentajes de humedad de las distintas zonas se determina el gradiente existente y se decide o no la corrección del proceso.

12. Cálculo de tiempo teórico de secado según el Método de Braunschirn

En general los métodos de cálculo de tiempo teórico de secado sirven para estimar la duración del secado en forma aproximada, de ninguna manera deberían ser adoptados como taxativos.

La base de este método de Braunschirn reside en la determinación de un valor e que representa la humedad expresada en porcentaje, eliminada por el secado en una hora.

La duración del secado se expresa por la siguiente fórmula:

$$D = \frac{DH}{e}$$

DH: Diferencia expresada en porcentaje entre la humedad inicial y final.

e: Es el producto de 5 coeficientes (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)

Los 5 coeficientes se refieren a:

- a_1 : Eficiencia de los equipos de secado.
- a_2 : Contenido de humedad de la madera.
- a_3 : Densidad anhidra.
- a_4 : Espesor de la madera.
- a_5 : Calidad de secado.

Descripción	Valor del Coeficiente a_1
Secadero muy eficiente con ventilación mecánica	1.0
Secadero normal con ventilación mecánica	0.8
Secadero con ventilación natural	0.5

Rango de humedad (%)	Valor del Coeficiente a_2
70 – 41	2.0
40 – 31	1.7
30 – 21	1.1
20 – 15	0.9
Debajo de 15	0.6

Densidad anhidra (Kg/m ³)	Valor del Coeficiente a_3
350	1.25
375	1.10
400	1.00
425	0.90
450	0.83
475	0.77
500	0.72

550	0.63
600	0.56
650	0.48
700	0.44
750	0.39
800	0.36
850	0.33
900	0.29

Espesor de la madera (mm)	Valor del Coeficiente a₄
15	2.10
20	1.40
25	1.00
30	0.80
35	0.65
40	0.55
50	0.40
60	0.30
70	0.25
80	0.20
90	0.15
100	0.12
120	0.10

Descripción	Valor del Coeficiente a₅
Secado normal corriente	1.0
Secado muy prudente para madera de calidad	0.9
Secado sin especificación de calidad	1.1

A los valores obtenidos de cálculo de tiempo teórico según esta metodología, se le deben sumar los tiempos de la primera etapa del secado (calentamiento y humidificación) y los de la última etapa (acondicionamiento).

Los valores de duración obtenidos son válidos para temperaturas normales (30°C -90°C) empleadas en el secado técnico, en caso de utilizar altas temperaturas o muy bajas se deberán efectuar correcciones.

13. Temperatura, Humedad Relativa y Humedades de Equilibrio higroscópico de la Argentina

La madera, cualquiera sea su humedad, está sujeta de manera constante a las condiciones atmosféricas en la que se encuentra (temperatura y humedad relativa del aire). Bajo la influencia de las variaciones de temperatura y humedad relativa del aire, la madera puede perder o tomar humedad y, en consecuencia, se hincha o se contrae.

La madera en el aire ambiente está influenciada por los cambios pero, cuando se encuentra en una atmósfera donde la temperatura y la humedad relativa del aire se encuentran fijas, la madera se estabiliza, en un tiempo más o menos largo a una determinada humedad llamada **humedad de equilibrio**.

El valor de la humedad de equilibrio de la madera es variable, también con la temperatura. Para la temperatura ambiente, ese valor es próximo a la quinta parte de la humedad relativa del aire. Valores más exactos son los expresados en las tablas de humedades de equilibrio.

Para la obtención de los valores de equilibrio higroscópico de la madera se tuvieron en cuenta los valores medios de temperatura y humedad relativa de diferentes zonas de la Argentina, establecidas en la Norma IRAM 11603/96.

LOCALIDAD	TEMP. (°C)	HR (%)	HEH (%)
BUENOS AIRES (CIUDAD AUTONOMA)			
AEROPARQUE	17,25	74,00	15,10
BUENOS AIRES	17,45	71,50	13,92
BUENOS AIRES (PROVINCIA)			
LOPEZ JUAREZ	13,15	72,50	14,36
PIGUE	13,50	65,50	11,92
BALCARCE	13,60	79,50	15,90
CORONEL SUAREZ	13,70	71,00	14,36
TANDIL	13,75	76,00	15,90
MAR DEL PLATA (AERO)	13,85	80,00	17,74
AZUL	13,90	78,50	15,90
BARROW	14,00	70,50	13,36
NECOCHEA	14,15	76,00	14,58
LAPRIDA	14,25	65,50	12,16
TRES ARROYOS	14,25	68,00	13,36
BORDENAVE	14,40	64,00	12,16
SAN CLEMENTE	14,45	85,50	17,92
MAR DEL PLATA	14,55	79,50	16,10
PINAMAR	14,55	77,50	16,10
SIERRA DE LA VENTANA	14,65	65,00	12,16
DOLORES	14,80	76,50	14,58
COMANDANTE ESPORA	15,00	64,50	12,40
HILARIO ASCASUBI	15,00	64,00	12,40
BAHIA BLANCA	15,05	60,50	11,50
LAS FLORES	15,30	74,00	14,80
PEHUAJO	15,40	71,00	13,60
ARGERICH	15,55	61,50	11,50
LA PLATA (AERO)	15,70	76,00	14,80
JUNIN	15,85	72,50	13,60
PUNTA INDIO	15,85	79,00	16,30
BOLIVAR	15,95	78,50	16,30
LA PLATA OBS	16,00	78,00	16,30
TRENQUE LAUQUEN	16,05	65,00	12,40
NUEVE DE JULIO	16,10	74,50	14,80
PARQUE PEREYRA	16,10	76,50	14,80
EZEIZA	16,15	74,00	14,80
LOS HORNOS	16,25	77,00	14,80
PERGAMINO	16,25	73,50	14,80
SAN MIGUEL	16,25	72,00	13,60
CASTELAR	16,60	71,00	13,60
EL PALOMAR	16,60	72,00	13,60
MERCEDES	16,70	78,50	16,30
MORON	16,70	73,00	14,80

SAN PEDRO	16,85	73,00	13,60
ISLA MARTIN GARCIA	17,55	74,00	13,92

CATAMARCA

CATAMARCA	14,70	57,00	10,34
TINOGASTA	17,50	54,50	10,20
CATAMARCA (INTA)	19,40	60,50	10,60

CORDOBA

HUERTA GRANDE	14,15	72,00	13,36
RIO CUARTO	16,05	63,50	11,50
LABOULAYE	16,45	66,50	12,40
EMBALSE	16,45	67,50	13,00
DIQUE LA VIÑA	16,55	61,50	13,60
MARCOS JUAREZ	16,75	71,50	13,60
DIQUE PISCOHUASI	16,85	66,00	12,40
PILAR	16,90	66,00	12,40
CORDOBA (AERO)	17,15	65,50	12,80
BELL VILLE	17,20	71,00	13,92
CORDOBA	17,70	60,50	10,96
VILLA DOLORES	17,90	55,00	10,20
MIRAMAR	18,10	77,00	15,28
VILLA MARIA	18,25	67,00	13,00
DIQUE CRUZ DEL EJE	18,95	61,00	11,14

CHUBUT

GOBERNADOR COSTA	7,55	62,00	11,50
ESQUEL	7,80	63,50	11,80
CABO RASO	11,70	66,50	10,46
COMODORO RIVADAVIA	12,65	49,00	8,96
TRELEW	13,25	49,00	9,24

CHACO

VILLA ANGELA	20,45	70,50	13,40
COLONIA BENITEZ	20,60	73,50	14,40
LAS BREÑAS	20,65	65,50	12,40
RESISTENCIA	20,70	74,00	14,40
ROQUE SAENZ PENA	20,95	69,50	13,40
RESISTENCIA (AERO) CLUB	21,05	73,50	14,54
PRESIDENCIA R.S. PENA	21,30	70,50	13,52
COLONIA CASTELLI	21,40	67,00	12,54

CORRIENTES

MONTE CASEROS	19,60	71,00	13,20
PASO DE LOS LIBRES	19,75	72,50	14,24
BELLA VISTA	20,60	71,50	13,40
GOYA	20,65	74,50	14,40
CORRIENTES (AERO)	20,90	73,50	14,40

GENERAL PAZ	21,00	76,00	14,54
ITUZAINGO	21,40	78,00	15,82
CORRIENTES	21,85	71,50	13,52

ENTRE RIOS

MAZARUCA	16,95	75,00	14,80
GUALEGUAYCHU (AERO)	17,50	72,50	13,92
GUALEGUAYCHU	17,60	75,50	15,10
PARANA (AERO)	18,25	70,00	14,08
PARANA	18,30	67,50	13,00
CONCORDIA	18,95	71,50	14,08

FORMOSA

FORMOSA	21,90	73,50	14,54
SAN FRANCISCO	22,00	73,50	14,54
LAS LOMITAS	22,35	66,00	12,54
TACA AGLE	23,00	70,50	13,52

JUJUY

LA QUIACA	8,55	46,00	8,58
HUMAHUACA	11,60	53,50	10,00
ALTO DEL COMEDERO	15,85	75,00	14,80
JUJUY	16,20	74,50	14,80
JUJUY EL CADILLAL	18,45	65,50	12,04

LA PAMPA

PUELCHES	12,35	60,00	10,72
GUATRACHE	15,15	53,50	9,80
SANTA ROSA	15,25	67,50	12,40
MACACHIN	15,35	62,50	11,50
QUEMUQUEMU	15,90	62,50	11,50
GENERAL PICO	16,15	63,50	11,50

LA RIOJA

CHILECITO	16,85	59,50	11,50
CHEPES	18,65	60,00	11,14
CHAMICAL	19,25	56,00	10,60
LA RIOJA	19,75	58,00	10,60

MISIONES

IGUAZU	20,05	82,50	17,10
CERRO AZUL	20,45	74,00	14,40
LORETO	20,45	82,50	17,10
OBERA	20,45	72,00	14,40
POSADAS	21,05	74,00	14,54

MENDOZA

CRISTO REDENTOR	-1,70	57,50	11,40
MALARGUE	11,50	57,00	10,00

BARDAS BLANCAS	11,85	49,50	9,56
SAN CARLOS	13,15	60,00	10,98
CHACRAS DE CORIA	14,30	59,00	11,24
PUENTE DEL INCA	14,70	43,00	8,00
ING. DAGOBERTO SARDINA	15,05	59,50	11,50
SAN RAFAEL	15,30	55,50	10,60
SAN MARTIN	15,50	58,00	10,60
COLONIA ALVEAR	15,60	59,00	11,50
MENDOZA	15,85	54,50	9,80
MENDOZA (AERO)	16,25	55,00	10,60

NEUQUEN

LAS LAJAS	12,35	59,00	10,72
NEUQUEN	12,70	51,00	9,82
CUTRALCO	13,45	47,50	9,24

RIO NEGRO

CATEDRAL 2000	2,10	78,00	14,90
BARILOCHE	7,85	73,00	14,78
EL BOLSON	9,45	75,00	15,04
MAQUINCHAO	9,55	56,00	10,90
SIERRA COLORADA	11,95	50,50	9,56
VILLA REGINA	14,00	66,00	12,16
ALTO DEL VALLE	14,15	56,00	10,34
CIPOLLETTI	14,25	51,50	9,52
SAN ANTONIO OESTE	15,30	58,50	10,60
RIO COLORADO	15,50	57,50	10,60
CHOELE CHOEL	15,70	50,50	9,80

SANTA CRUZ

LAGO ARGENTINO	7,15	58,00	11,50
RIO GALLEGOS	7,15	68,50	12,86
PUERTO DESEADO	9,10	55,00	9,86

SANTIAGO DEL ESTERO

LA BANDA	19,95	68,50	13,20
SANTIAGO DEL ESTERO	20,20	64,00	11,50
MONTE QUEMADO	21,70	62,50	11,66

SANTA FE

OLIVEROS	17,20	74,00	13,92
ANGEL GALLARDO	18,35	70,00	13,00
ESPERANZA	18,55	70,00	13,00
CERES	19,10	70,00	13,20
SAN JUAN			
JACHAL	16,40	57,50	10,60
VALLE FERTIL	16,95	58,50	11,50

EL BALDE	17,20	45,00	8,74
SAN JUAN (AERO)	17,35	47,50	8,74
SAN JUAN	17,40	54,50	10,20
SAN LUIS			
VILLA REYNOLDS	15,55	66,50	12,40
UNION	15,85	69,50	13,60
SAN LUIS	17,00	54,00	10,20
SALTA			
SALTA	15,80	73,00	14,80
ORAN	20,45	76,00	15,70
TUCUMAN			
VILLA NOGUES	14,45	73,00	14,58
TUCUMAN	18,40	74,50	14,08
TUCUMAN (AERO)	19,00	70,00	13,20
TIERRA DEL FUEGO E ISLAS DEL ATLÁNTICO SUR			
BASE ESPERANZA	-5,75	81,50	0,00
ISLAS ORCADAS	-4,20	86,50	0,00
USHUAIA	5,50	75,00	15,90

Basado en:

- Norma IRAM 11603/96 "Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina". ANEXO A: Datos climáticos para el diseño y evaluación del comportamiento térmico de edificios.
- Tabla psicrométrica.
- Curva de Equilibrio Higroscópico de la Madera. Franz Kollmann. Tecnología de las maderas y sus aplicaciones.1959.

14. Tratamientos especiales

Dentro de los tratamientos especiales que se realizan con diferentes fines se puede mencionar el tratamiento para uniformar el color de la madera y el tratamiento térmico para la eliminación de plagas cuarentenarias de la madera.

14.1. Tratamiento para uniformar del color de la madera.

Es frecuente que las maderas presenten diferentes tonos en su coloración, para lo cual en la actualidad se está poniendo en funcionamiento un proceso, que aunque antiguo, no ha perdido vigencia.

Este proceso también llamado desaviado ó lixiviado se realiza en general en cámaras diferentes de las usadas para el secado de la madera.

El proceso de desaviado consiste en exponer la madera durante un tiempo más o menos prolongado, a la acción de vapor de agua.

Se dan a continuación indicaciones generales sobre esa práctica.



Madera tratada

Madera sin tratar

Cámara de desaviado

Las industrias que tienen un secadero, pueden ocasionalmente, utilizarlas como cámara para uniformizar el color. Pero deben tener presente que el vapor caliente y húmedo va a corroer muy rápidamente todas las partes metálicas.

En estas condiciones, es preferible contar con una cámara especial para practicar el desaviado ó lixiviado.

Para esta operación no son necesarios ni los radiadores ni los ventiladores.

La cámara debe en lo posible tener pequeñas dimensiones, se estima un máximo de 30 m³ - 50 m³ de volumen interior.

Las construcciones para este tratamiento son similares a las construcciones utilizadas en secaderos. Se debe asegurar estanqueidad tanto al vapor como al calor. La construcción debe estar hidrofugada, calorifugada e impermeabilizada a la humedad.

El piso de la cámara debe ser realizado en hormigón con una fuerte pendiente hacia una de sus esquinas para asegurar el escurrimiento del agua de condensación.

La colocación de trampas debe ser considerada sobre estos conductos de manera de realizar una evacuación del condensado y una observación del color del agua de manera de verificar el avance del proceso.

Las cañerías de salida de agua deben ser importantes, considerando que por ella se debe evacuar toda el agua proveniente de la condensación del vapor y una cantidad de agua proveniente del secado parcial de la madera en el transcurso del desaviado.

La llegada del vapor a la cámara se realiza a través de tuberías (en lo posible de material no corrosivo), situadas a todo lo largo de la cámara o en su perímetro y en la parte inferior de ésta.

Se puede realizar un desaviado indirecto si el piso de la cámara se ve amenazado por este efecto. Para este caso se coloca una cama de agua de 25 cm a 30 cm de alto, que se debe conservar permanentemente con agua, sobre ésta se sitúan los caños de vapor. Se obtiene de esta manera un flujo mas regular de humedad que por el sistema de vaporización directa.

Es importante tener chimeneas de manera de evacuar el máximo de aire antes de iniciar la operación a fin de evitar cualquier sobrepresión y un sobre calentamiento del vapor introducido.

Es importante contar con un termómetro de lectura a distancia (termómetro a presión de vapor), de manera de tener una evolución de las temperaturas del proceso.

Apilado de la madera

La madera debe ser ubicada dentro de la cámara formando paquetes compactos, sin separadores.

Se debe tener en cuenta que el desaviado es un proceso donde la madera se torna plástica, por lo que es necesario que la acomodación del material sea realizado con extremo cuidado para evitar deformaciones durante la operación de lixiviado.



Apilado de la madera para uniformar el color

Proceso de lixiviado ó desaviado

El desaviado se realiza introduciendo vapor en el interior de la cámara. Es una operación que se realiza a alta temperatura, se puede obtener normalmente de 90 –100 °C. A veces, a fin de reducir al mínimo la coloración aportada por

algunas maderas que no pueden soportar temperaturas altas, se utilizan temperaturas de 60 a 80 °C.

El estado higrométrico debe ser de 100% ó cercano a este valor, es necesario escalonar la introducción de vapor, de forma análoga a los escalonamientos existentes en el secado de madera.

El vapor no debe jamás caer en forma directa sobre la madera, debe ser dispersado en el medio.

Ninguna circulación de aire esta prevista para el desaviado.

La presión de vapor más ventajosa es de 0,2 a 0,7 daN/cm² para obtener colores más claros, para colores más oscuros se utilizan presiones superiores a 1daN/cm².

Duración de la operación

No existe ninguna duración precisa del tiempo de esta operación. Se da como regla general una duración de 18 horas - como mínimo - por cm de espesor de la madera a tratar. En realidad se sabe que en la práctica, la operación se termina, empíricamente, considerando el color del agua de condensación.

Consumo de vapor

Es difícil dar una cifra exacta pero se puede tomar como promedio un consumo de 15 kg. de vapor/ h m³ de cámara. Esto representa un consumo importante equivalente al necesario para secar 1 m³ de madera.

Precauciones diversas

Las precauciones a tomar de la madera tratada a la salida de la cámara son:

- Evitar que la madera se agriete por un enfriamiento muy rápido.

- Hacer disminuir la temperatura de la madera antes de abrir la puerta de la cámara.
- Abrir las puertas en forma progresiva.
- Se puede salir del desaviado luego de transcurridas 5 / 6 horas del proceso dependiendo de la temperatura exterior.

Proceso tipo de desaviado ó lixiviado para uniformizar el color

El proceso se debe realizar en cámaras con vapor libre, sin ventilación. La madera debe ser colocada dentro de la cámara en bloque sin varillas de separación.

El tiempo total del proceso es de 90 horas.

- Las primeras 24 horas se debe ingresar vapor a 40 °C.
- Las siguientes 48 horas se debe ingresar vapor a 70 °C.
- Las últimas 18 horas se debe ingresar vapor a 90 °C.

Terminado este proceso la madera debe ser enfriada y luego secada en cámaras convencionales hasta la humedad final de preferencia.

El programa propuesto no es de cumplimiento estricto, ya que puede ser ajustado o modificado en función de las maderas tratadas y de las experiencias realizadas.

14.2. Tratamiento térmico para madera de embalajes

Normativa

Como consecuencia de la aplicación de la Norma Internacional de Medidas Fitosanitarias (NIMF) 15 de la FAO sobre Directrices para reglamentar el embalaje de madera utilizado en el comercio internacional y la Resolución 626/03 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA), se ha desarrollado una línea de equipos que permite realizar el proceso de tratamiento térmico que es una de las opciones sugeridas por la mencionada norma.

La realización de este tratamiento tiene como objetivo la eliminación de plagas cuarentenarias que afectan a la agricultura y a las fuentes naturales urbanas. Las plagas aludidas se encuentran en la madera sólida (Solid Wood Packing Material - SWPM), en estado larval o de reposo lo que incrementa su potencial de supervivencia.

Tratamiento Térmico de Maderas

Este proceso consiste en el calentamiento conforme a una curva tiempo / temperatura específica, del material para embalajes de madera y maderas de acomodación (SWPM), hasta que el centro de las piezas alcance una temperatura de 56°C y la mantenga durante un período mínimo de 30 minutos.

Este procedimiento se llama Tratamiento Térmico (TT) y se realiza en recintos de características particulares.

Las exigencias que deben cumplir las cámaras de TT son las siguientes:

- Ser herméticas
- Seguras para el personal
- Con sistema de controlador/registrador electrónico
- Con 3 sensores como mínimo de medición de temperatura de la madera , con registro.
- Con 1 sensor de temperatura para medición de la temperatura del aire de la cámara
- Con sistema de circulación forzada de aire.

Infraestructura

Se presentan varias versiones:

1. Totalmente construidas en aluminio.
2. Totalmente de mampostería.

Todas las opciones se presentan para sistemas de carga frontal o lateral. Para todos los casos el piso debe ser de hormigón.





Equipos Componentes

- **Sistema de ventilación**

Los sistemas de ventilación son similares a los utilizados en los procesos de secado y en general están compuestos por conjuntos motoventiladores de funcionamiento reversible, formados por un ventilador axial y un motor apto para trabajar en ambientes corrosivos

El diámetro de los ventiladores es de aproximadamente 800 mm. El número de ventiladores instalados dependerá de la capacidad de la cámara.

- **Sistema de calefacción**

Las cámaras pueden ser equipadas con variantes para el sistema de calefacción:

A) – Calefacción con vapor o agua caliente : Se utilizan radiadores compuestos de tubos aletados que garantizan un eficiente intercambio de

calor, baja caída de presión al pasaje del aire a través de ellos y una excelente resistencia a la corrosión.

La alimentación de los radiadores podrá ser por vapor a baja presión o agua caliente y la regulación de temperatura del sistema se efectúa con válvulas modulantes motorizadas que permite una mínima histéresis en las temperaturas del proceso.

B) - Calefacción indirecta por intercambiador: Se utiliza un equipo autónomo equipado con forzadores de aire y un intercambiador de calor humotubular construido en acero inoxidable.

El equipo podrá alimentarse con quemador automático de gas ó gas – oíl.

- **Sistema de atomización de agua**

Está compuesto por una bomba hidroneumática con presostato regulable que alimenta una red interna de la cámara provista de toberas de spray. La cantidad de toberas dependerá del volumen de la cámara.

- **Ventiletes**

Los ventiletes tienen como función acelerar el enfriamiento de la madera luego del proceso de TT permitiendo el ingreso de aire frío y controlar la humedad relativa interior de la cámara en caso de ser necesario. Los más eficientes están comandados por un servomotor de accionamiento eléctrico que permite la apertura y cierre de los mismos en forma proporcional.

- **Controladores**

Se ofrece varias versiones de controladores:

- Sistemas que controlan los ventiladores y la fuente de calor, monitorean la temperatura de la madera en los sensores y una vez alcanzada la temperatura deseada en todos ellos, mantiene la misma durante un tiempo predeterminado. Finalizado el proceso, desconecta los ventiladores e interrumpe la fuente de alimentación de calor. Los valores de temperatura de los sensores son registrados.
- Sistemas de control para secadero que están provistos de una instalación adicional sobre un controlador estandar, que permite sensar la temperatura de la madera y registrarla, controlar ventiladores y fuentes de calor.
- Sistema compacto compuesto por 4 sondas de temperatura tipo NTC, un módulo I/O y un conversor. El equipo maneja los motoventiladores y válvulas de calefacción en forma automática. Posee una salida para registración e impresión del protocolo del proceso.

Proceso orientativo para TT de maderas

Una vez introducido el material a tratar dentro de la cámara, verificando previamente que no haya interrupciones severas en la circulación del aire y colocados los sensores de temperatura en las piezas de madera de mayor espesor se puede iniciar el ciclo de TT.

La tabla de TT que se publica debe considerarse como orientativa y tomarse como referencia. El conductor del tratamiento juntamente con el fabricante del equipo elaboraran una pauta más ajustada sobre la base de la expuesta, en función del material que se desea tratar térmicamente.

A) Alternativa con atomización de agua o inyección de vapor

Tabla de TT

Fase	Condición		Tiempo aproximado (')
	T (°C)	HR (%)	
1	60	80-100	60
2	70	-----	60
3	70	-----	60
4	-----	-----	Enfriamiento

B) Alternativa sin atomización de agua o inyección de vapor

Tabla de TT

Fase	Temperatura (°C)	Tiempo(')
1	60	60
2	60	60
3	70	60
4	-----	Enfriamiento

La madera es un material mal conductor del calor debido, en parte, a su naturaleza porosa que determina la presencia de aire en su interior. Por su anisotropía la conductividad térmica, varía en función de la dirección que se considere. De esta manera se puede aseverar que la conductividad térmica es de dos a tres veces mayor en sentido longitudinal que en sentido transversal. La mayor o menor conductividad térmica de una madera hace variar los tiempos de proceso de tratamiento térmico y los siguientes factores lo condicionan:

1. Escuadría
2. Dirección del grano
3. Densidad
4. Humedad inicial
5. Presencia de extractivos
6. Proporción de leño temprano y leño tardío en coníferas.
7. Temperatura inicial

De todos estos factores los que tienen mayor importancia en un proceso de TT son: la densidad, la humedad de la madera, la escuadría y la temperatura inicial.

1. Escuadría: cuanto más grande sea la sección de la pieza de madera más tiempo tardará en calentarse debido a la resistencia que ésta opone al pasaje de un flujo de aire caliente.
2. Humedad inicial: a mayor contenido de humedad inicial de la madera, se tardará menos tiempo en calentarla, consecuentemente a menor contenido de humedad la resistencia al calentamiento aumenta.
3. Densidad: al ser la madera un material poroso, el conocimiento de la cantidad de sustancia sólida que forma las paredes celulares, es decir la masa por unidad de volumen, es de gran importancia ya que es un indicador, entre otras, de las propiedades térmicas que posee la madera. La variación de la densidad entre especies forestales, tiene su explicación en la diferencia de valores entre la densidad de la sustancia sólida que forma las paredes celulares y la densidad de esta sustancia expresada en relación con el volumen exterior de la pieza de madera que incluye los espacios porosos. A partir de este concepto, se puede inferir que maderas menos

densas, con mayor tamaño de poros o fracción de volumen vacío, son más fáciles de calentar que maderas más densas.

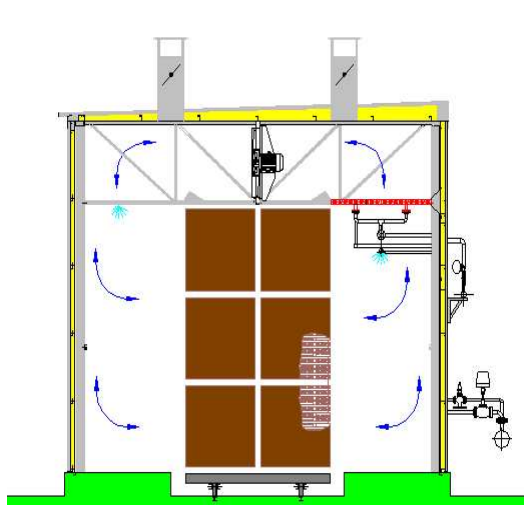
Existe gran variación entre la densidad de las maderas que se utilizan habitualmente para embalajes : álamos, pinos, eucaliptos y quebracho blanco, entre otras, sin dejar de tener en cuenta la combinación en un solo embalaje de dos especies de densidades diferentes, por lo que se debe prestar especial atención a esta variable durante el proceso de TT.

Esta propiedad está altamente influenciada por la humedad de la madera.

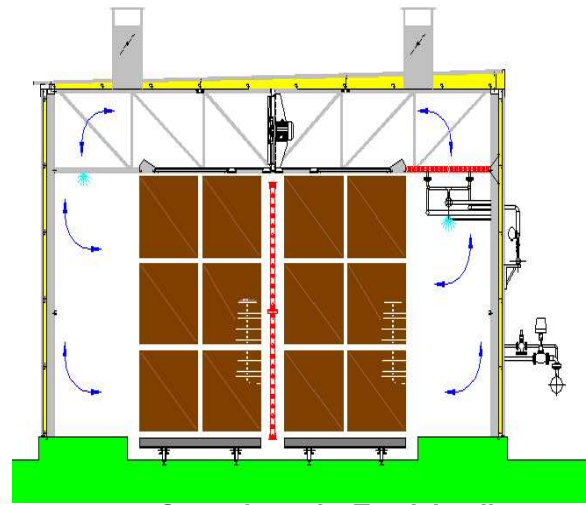
En la mayoría de las maderas el coeficiente de conductibilidad calorífica interna es función lineal ó casi lineal de la humedad y está en relación con la densidad ó sea con el volumen de poros.

4. Temperatura inicial: esta variable es importante si se considera el salto térmico que debe soportar la madera al inicio del proceso de TT. Es normal que la madera se encuentre a la temperatura ambiente, por consiguiente en épocas de invierno o en zonas frías, la madera tardará más tiempo en llegar a la temperatura solicitada (56°C). Cuando existe gran diferencia de temperaturas si se somete la madera a temperaturas elevadas sin escalonamientos, se corre el riesgo de deteriorarlas hasta el límite de perder la funcionalidad del embalaje.

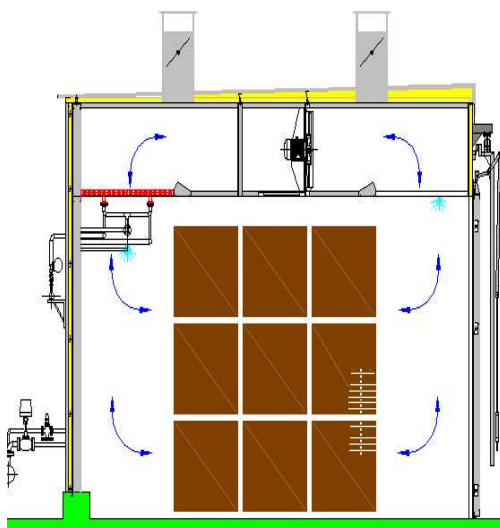
ANEXO 1 - CAMARAS DE SECADO



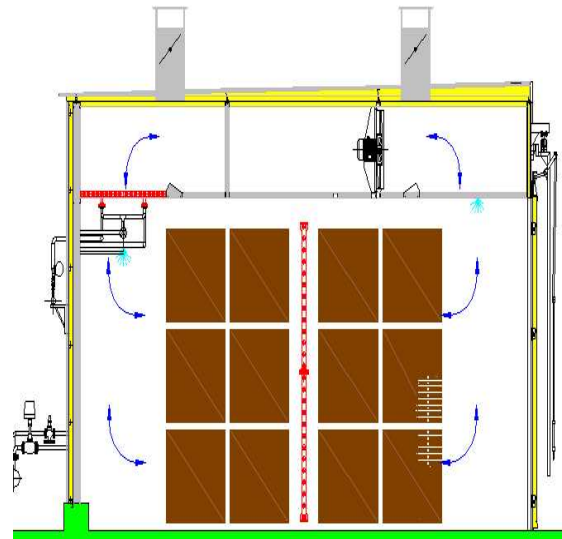
Carga frontal – Track loading
Simple via – Single track



Carga frontal – Track loading
4 estibas - 4 packages in with

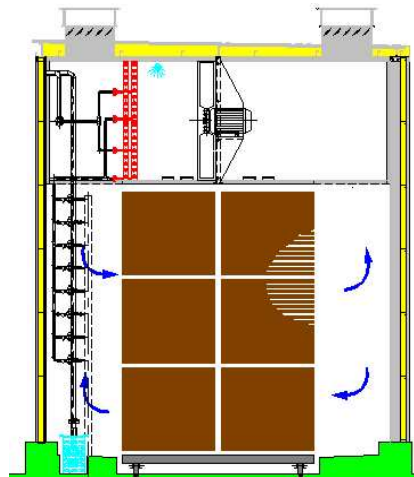


Carga lateral – Forklift loading

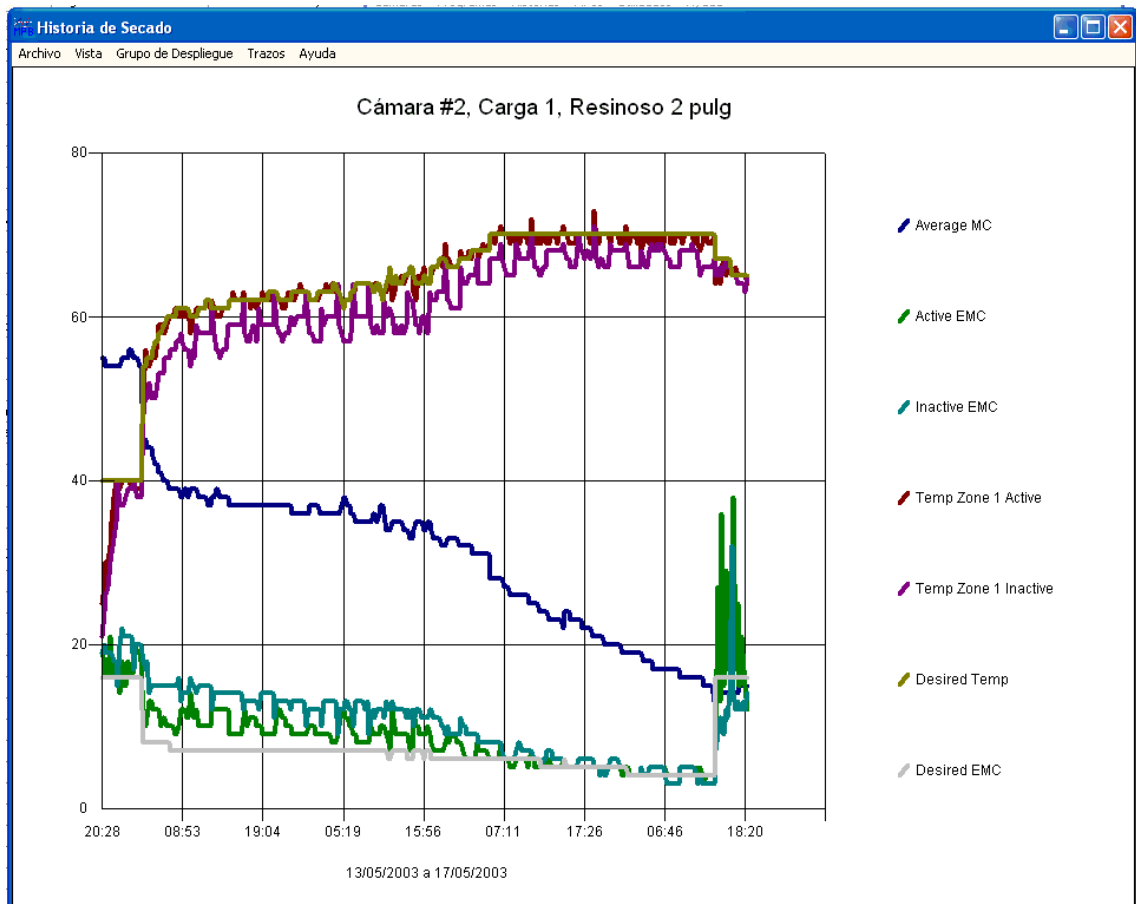
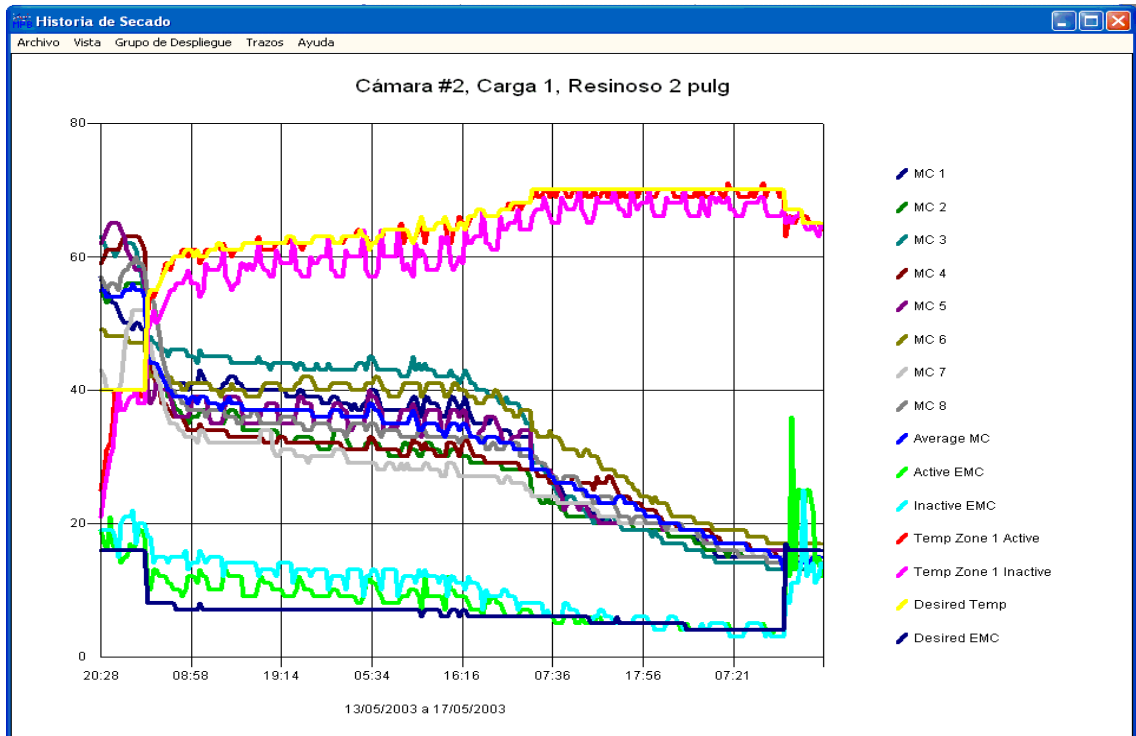


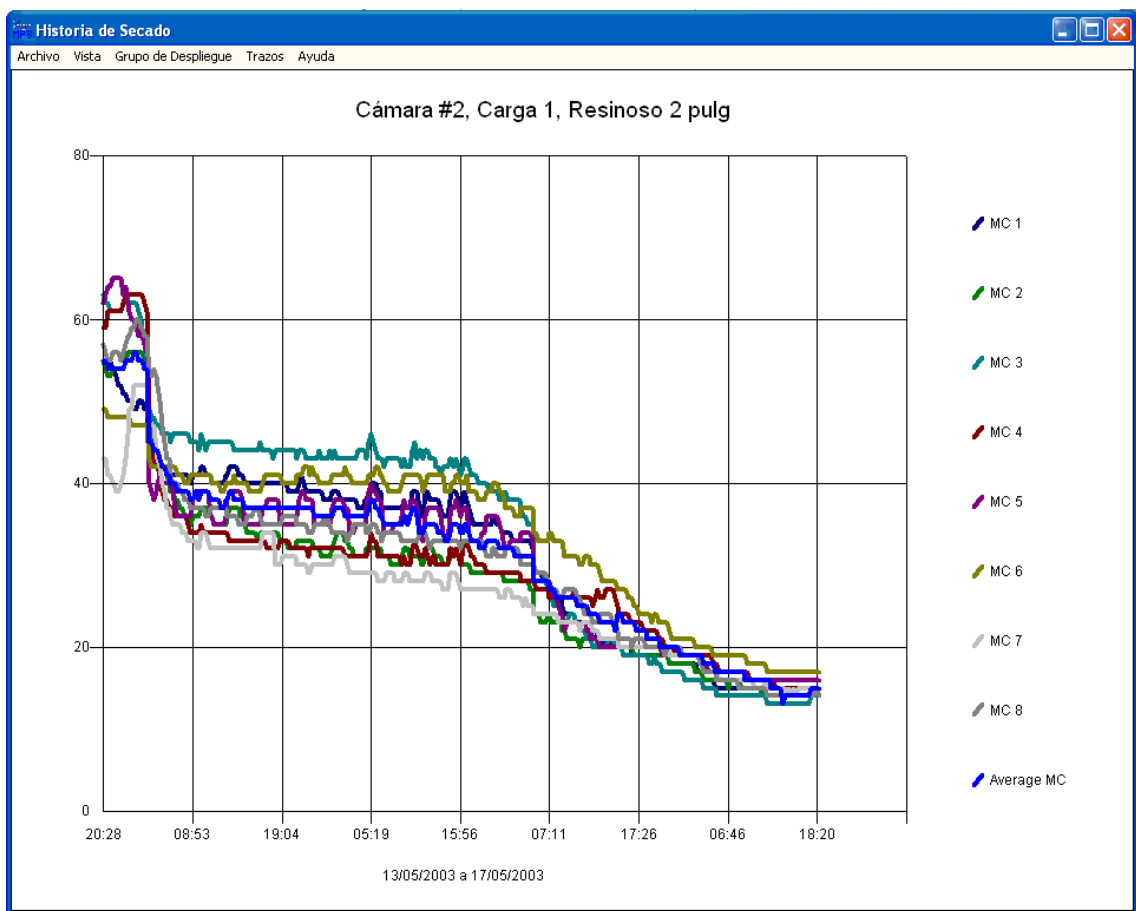
Carga lateral – Forklift loading
4 estibas – calefactor vertical

Ciclo acelerado
Accelerated cycle



ANEXO 2 - CURVAS DE SECADO





MC: Contenido de humedad de la madera

Average MC: Promedio de humedad de los puntos de medición de la madera.

Active EMC: Humedad de Equilibrio Higroscópico en la zona de ingreso del flujo de aire.

Inactive EMC: Humedad de Equilibrio Higroscópico en la zona de salida del flujo de aire.

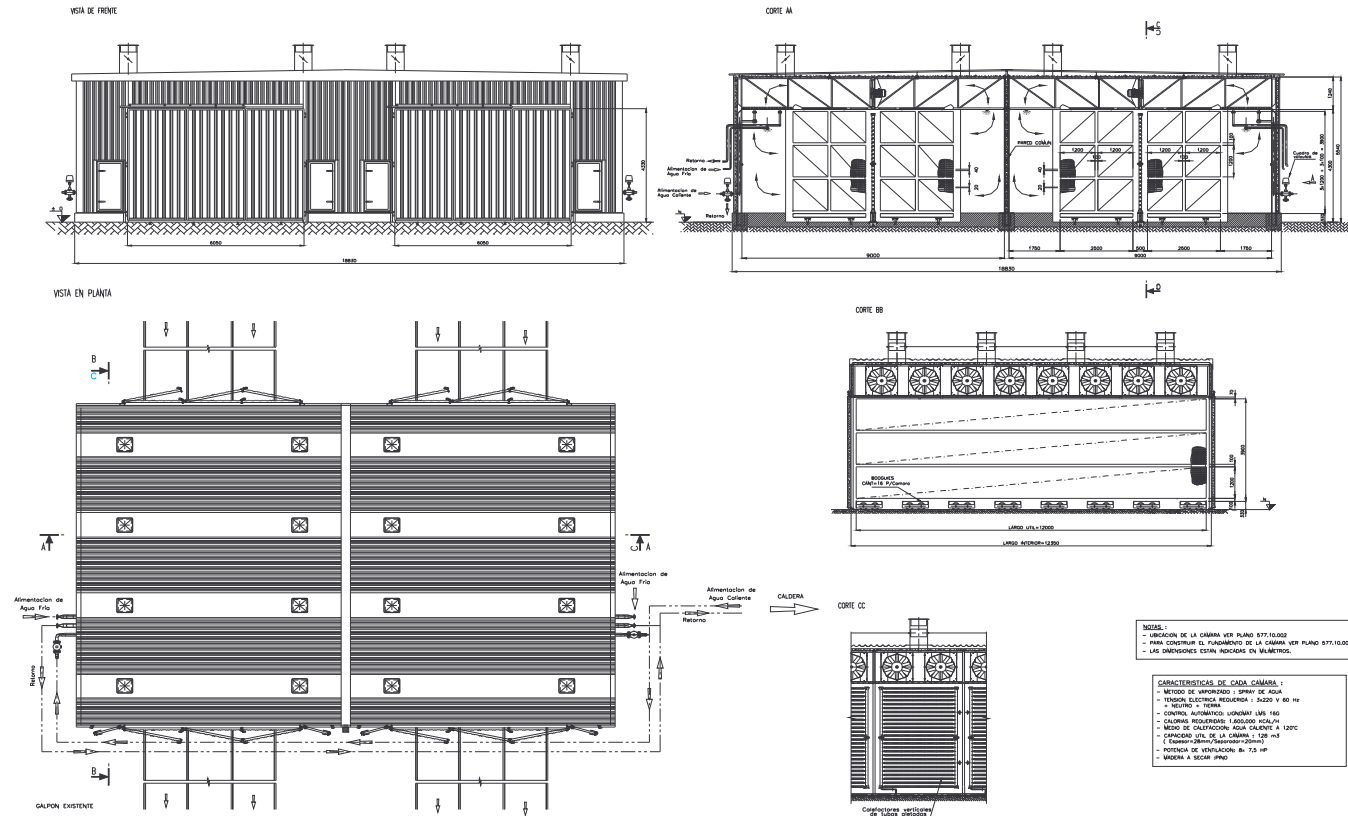
Temp Zone 1 Active: Temperatura en la zona de ingreso del flujo de aire.

Temp Zone 1 Inactive: Temperatura en la zona de salida del flujo de aire.

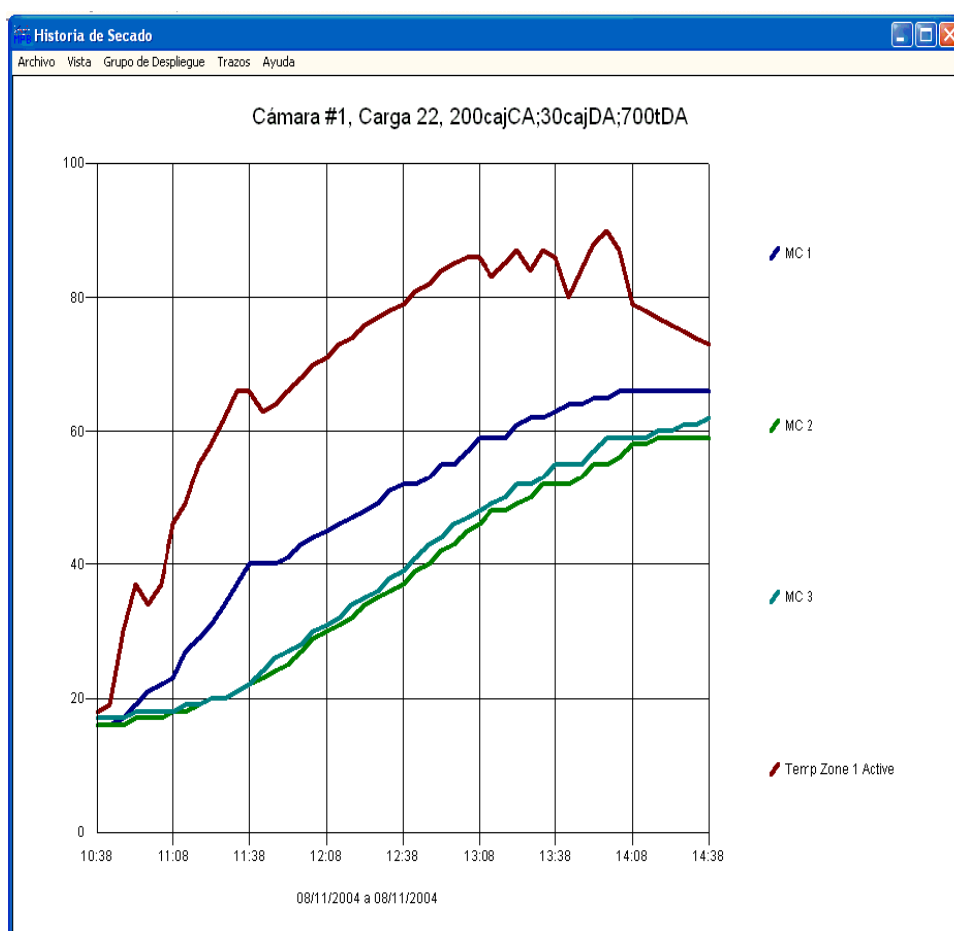
Desired Temp: Temperatura deseada.

Desired EMC: Humedad de Equilibrio Higroscópico deseada.

ANEXO 3 - LAYOUT PLANTA DE SECADO



ANEXO 3 - CURVA DE TRATAMIENTO TERMICO



MC1; MC2, MC3: Temperatura de la madera

Temp Zone 1 Active: Temperatura del aire

Cámara #1 , Carga 22 , 200cajCA;30cajDA;700tDA					
Archivo Grupo de Despliegue Ayuda					
Fecha	Hora	MC 1	MC 2	MC 3	Temp Zone
08/11/2004	10:38	*16,1	*16,1	*17,1	18,9
08/11/2004	10:43	*16,3	*16,1	*17,1	19,4
08/11/2004	10:48	*17,1	*16,4	*17,1	30,1
08/11/2004	10:53	*19,4	*16,7	*17,5	37,2
08/11/2004	10:58	*21,3	*17,0	*17,9	34,5
08/11/2004	11:03	*21,7	*17,0	*18,0	37,0
08/11/2004	11:08	*23,1	*17,7	*18,4	46,2
08/11/2004	11:13	*26,7	*18,2	*19,0	49,9
08/11/2004	11:18	*29,3	*19,0	*19,4	55,4
08/11/2004	11:23	*31,4	*19,5	*19,5	58,7
08/11/2004	11:28	*33,8	*19,6	*20,0	62,9
08/11/2004	11:33	*36,6	*20,7	*21,1	66,3
08/11/2004	11:38	*39,6	*21,9	*22,0	66,9
08/11/2004	11:43	*39,6	*23,2	*23,7	63,2
08/11/2004	11:48	*39,8	*23,9	*25,9	64,5
08/11/2004	11:53	*41,3	*25,3	*27,2	66,2
08/11/2004	11:58	*42,9	*26,8	*28,5	68,1
08/11/2004	12:03	*43,6	*28,6	*29,7	70,1
08/11/2004	12:08	*44,9	*30,1	*31,2	71,7
08/11/2004	12:13	*46,0	*31,4	*32,2	73,0
08/11/2004	12:18	*47,3	*32,3	*33,7	74,8
08/11/2004	12:23	*47,8	*33,8	*35,4	76,5
08/11/2004	12:28	*49,3	*35,0	*36,2	77,6
08/11/2004	12:33	*50,7	*36,2	*38,1	78,8
08/11/2004	12:38	*51,5	*37,5	*39,4	79,1
08/11/2004	12:43	*51,6	*39,1	*40,9	81,8
08/11/2004	12:48	*53,2	*40,0	*42,9	82,9
08/11/2004	12:53	*54,9	*41,9	*43,9	84,2
08/11/2004	12:58	*55,0	*43,5	*45,6	85,1
08/11/2004	13:03	*57,2	*44,9	*47,3	86,3
08/11/2004	13:08	*58,6	*46,2	*47,9	86,6
08/11/2004	13:13	*59,0	*47,5	*49,4	83,8
08/11/2004	13:18	*59,0	*47,6	*50,2	85,6
08/11/2004	13:23	*60,7	*49,4	*51,5	87,2
08/11/2004	13:28	*61,8	*50,2	*51,5	84,7
08/11/2004	13:33	*62,5	*51,5	*52,8	87,2
08/11/2004	13:38	*63,1	*51,5	*54,6	86,6
08/11/2004	13:43	*63,5	*51,5	*55,0	80,2
08/11/2004	13:48	*63,9	*52,9	*55,0	84,0
08/11/2004	13:53	*64,6	*54,6	*57,1	88,0
08/11/2004	13:58	*65,3	*55,0	*58,6	90,5
08/11/2004	14:03	*66,0	*56,3	*59,0	87,8
08/11/2004	14:08	*66,1	*57,6	*59,0	79,0
08/11/2004	14:13	*66,1	*58,0	*59,0	78,1
08/11/2004	14:18	*66,1	*58,5	*59,9	77,0
08/11/2004	14:23	*66,1	*59,0	*60,4	76,1
08/11/2004	14:28	*66,1	*59,0	*60,5	75,3
08/11/2004	14:33	*66,1	*59,0	*61,0	74,4
08/11/2004	14:38	*66,1	*59,0	*61,5	73,3

Glosario y definición de términos

H: Humedad

HM: Humedad de la madera

HEH ó UGL: Humedad de Equilibrio Higroscópico

PSF: Punto de Saturación de las fibras

Ps: Peso seco

Ph: Peso húmedo

HR: Humedad relativa

T: Temperatura

GS: Gradiente de secado

GH: Gradiente de humedad

HF: Humedad final

A: Aluminio

M: Mampostería

AM: Aluminio – Mampostería

Albura (Sapwood): de exterior del leño, ubicada entre la corteza y el duramen. Compuesta por células vivas, su función es la de conducción. No duraminizada.

Anillo de crecimiento (Annual growth ring): es la sección transversal de la capa de madera formada durante un período vegetativo.

Duramen (Heartwood) : Parte interior del leño, compuesta por células muertas, duraminizadas. Su función es la de sostén

Fibra (Fiber): Células largas y estrechas de la madera, distintas de los elementos vasculares

Lumen : Parte interior de una célula

Médula (Pith): Parte central del árbol constituido por tejido parenquimático

Pared celular (Cell wall): Pared de celulosa que circunscribe una célula.

Radio leñoso (Rays): Son bandas formadas por células que cortan radialmente los anillos de crecimiento.

Vaso leñoso (Vessel): Conjunto de células que se unen y forman una estructura tubular articulada de longitud variable.

Bibliografía consultada

- 📖 Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Dr. Ing. Franz Kollman.
- 📖 Sèchage des bois. Andre Villière.
- 📖 Manual de secado de las maderas misioneras. Ing. José Claudio Tinto
- 📖 Manual de secado de maderas. INTI-CITEMA.
- 📖 El secado de la madera aserrada. Robert Hildebrand Maschinenbau GMBH.
- 📖 Directrices de secado de Talleres Götttert SAIC
- 📖 Manual de secado de maderas. AITIM
- 📖 Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Rinaldo Tuset y Fernando Durán.
- 📖 Manual del Grupo Andino para el secado de maderas. Junta del Acuerdo de Cartagena.
- 📖 Pavimentos de madera. AITIM

Plano, Fotos, Croquis, Curvas facilitadas por Talleres Götttert SAIC