

TÉCNICAS DE SECADO DE LA MADERA

1

S
E
R
I
E

GUÍA DE CONTENIDOS

COMPETENCIAS BÁSICAS
PARA LA PRODUCCIÓN
INDUSTRIAL DE MUEBLES
DE MADERA

Copyright © Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEmadera)
Ministerio de la Producción

Guía de Contenidos “Técnicas de Secado de la Madera”.
Serie 1 “Competencias Básicas para la Producción Industrial de Muebles de Madera”

Comité Editorial:

Jessica Moscoso
Carmen Gutiérrez

Sistematización:

Angélica Bernalles

Colaboradores:

Freddy Bardales
Christian Benavente
Daniel Bravo de Rueda
Roberto Pérez
Miguel Sánchez
José Ugarte

Diseño y Diagramación:

Rocio Alejos Fateil

Dibujos:

Carlos Cuadros

Fotos:

CITEmadera

1º Edición: Lima, Diciembre 2009

ISBN #

Las publicaciones del CITEmadera pueden obtenerse en Jirón Solidaridad cuadra 3 s/n en el Parque Industrial de Villa El Salvador, Lima 42-Perú

Ver nuestro sitio en la red: www.citemadera.gob.pe



El Centro de Innovación Tecnológica de la Industria de la Madera - CITEmadera es una institución pública del Ministerio de la Producción del Perú cuya misión es lograr que las micro, pequeñas y medianas empresas de la cadena industrial de la madera se conviertan en agentes dinámicos, ampliando así su participación como empresas competitivas en el mercado, gracias a la innovación y desarrollo tecnológico.

Con la finalidad de transferir tecnologías a las empresas, el CITEmadera ofrece a los empresarios, técnicos y profesionales del sector, servicios de capacitación, asistencia técnica, información y soporte productivo, orientados a desarrollar competencias técnicas para un desempeño exitoso en las empresas.

Este es el marco en el cual el CITEmadera presenta la Serie I Competencias Básicas para la Producción Industrial de Muebles de Madera.

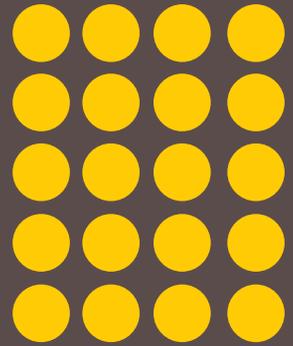
La Serie I, comprende un conjunto de Guías de Contenidos utilizados en los cursos de:

- Identificación Organoléptica y Macroscópica de Maderas Comerciales.
- Diseño y Desarrollo del Producto.
- Mejora de Procesos de Carpintería en Madera.
- Técnicas de Acabado I.
- Método 5 “S”: Aplicado a las Empresas Industriales de la Madera y el Mueble.
- Técnicas de Secado de la Madera.

Estos materiales, constituyen una herramienta didáctica de orientación y ayuda memoria de los contenidos técnicos desarrollados en los cursos de capacitación ofrecidos por el CITEmadera.

En la presente Guía de Contenidos “Técnicas de Secado de la Madera” se pone a disposición de los empresarios y trabajadores de las empresas del sector, técnicas básicas del secado de la madera al aire y en hornos de secado.

INDICE



●	INTRODUCCIÓN
●	M1 ANATOMÍA DE LA MADERA.
●	M2 SECADO DE LA MADERA.
●	M3 SECADO NATURAL.
●	M4 SECADO ARTIFICIAL.
●	M5 COSTO Y BENEFICIO DEL USO DE MADERA SECA.
●	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

7

11

19

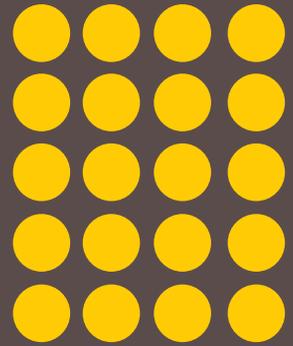
31

43

57

63

INTRODUCCIÓN



La madera es uno de los elementos constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado en la construcción de sus viviendas y la producción de muebles. Sin embargo, para lograr trabajar la madera en forma adecuada y obtener un resultado excelente, es indispensable conocer y manejar las características y propiedades de la madera relacionadas con su estructura anatómica, así como la forma de corte y el proceso de secado.

Cada vez más, el mercado exige mayor calidad en los productos; calidad entendida como durabilidad, comodidad, materialidad, funcionalidad y acabado. Usar madera seca ¹ es un paso fundamental para alcanzar la estabilidad y buen desempeño o “performance” en la manufactura de los productos maderables.

La madera en general y la madera tropical en particular es una materia prima que ofrece un conjunto de ventajas comparativas por su calidez, trabajabilidad, textura y resistencia en la producción de muebles y otros productos que los empresarios pueden aprovechar para captar clientes y mantenerse en el mercado.

¿Qué ventajas se tiene en el uso de madera como materia prima?

Entre las ventajas de la madera en relación a otras alternativas de insumos o materia prima destacamos las siguientes:

- La madera extraída de bosques naturales o plantaciones, es un recurso renovable; por lo tanto, el manejo de los bosques de forma sostenible permitirá asegurar el abastecimiento de madera para la industria.
- La madera es amigable con el medio ambiente. El procesamiento de la madera es una de las industrias que menor requerimiento energético demanda y los bosques contribuyen a la regulación climática y a la captura de CO₂, sin retorno del mismo durante su transformación como madera.
- La madera posee una alta resistencia mecánica en relación con su peso; es tan resistente como otros materiales de construcción; capaz de resistir choques y vibraciones mejor que otros materiales, siendo altamente usada en viviendas de zonas sísmicas.
- La madera, por ser un material orgánico, es un material cálido a los sentidos, de alta trabajabilidad y versatilidad, de uso industrial, decorativo y artístico.

¹ Entiéndase madera seca como madera cuyo contenido de humedad final será equivalente al contenido de humedad requerido según el uso del producto y el lugar de destino.

- La madera resiste la acción de los ácidos y el agua salada; no se oxida como los metales.
- La madera seca es un buen aislante eléctrico, térmico y acústico, siendo empleada en postes de conducción de energía eléctrica, construcción de viviendas, cielos rasos y/o paneles aislantes.

Para aprovechar adecuadamente las ventajas que tiene la madera como materia prima para la industria, es necesario conocer sus características y condiciones a tomar en cuenta para su uso.

Características y condiciones del uso de la madera como materia prima.

- Dado que la madera es un material higroscópico, se hincha cuando absorbe agua y se contrae cuando la pierde; para incrementar la durabilidad y performance de los productos, debe emplearse adecuadamente seca.
- Algunas especies de maderas deben someterse a un proceso de preservación o tratamiento para evitar el ataque de hongos e insectos. Generalmente, éstos son recomendados para especies de madera blanda.
- La madera es influenciada por las condiciones climáticas del ambiente donde se trabaja y el lugar donde será usado el producto. Por ello, la madera debe secarse al contenido de humedad del ambiente donde prestará servicio.
- La madera es propensa a rajarse, agrietarse, deformarse, honguearse y picarse. La exposición solar directa, los cambios bruscos de temperatura, la humedad del ambiente y una inadecuada ventilación incrementan esa tendencia. Por ello, su almacenaje debe darse en un lugar ventilado, bajo sombra y bien apilada.
- No todas las especies de madera son iguales; varían de acuerdo a su densidad, algunas presentan inclusiones como: cristales, sílice, resinas u otros elementos que originan un comportamiento distinto en su trabajabilidad. Por ello se requiere emplear herramientas de corte de acuerdo al proceso a realizar y especie de madera a trabajar para un buen maquinado.
- No todas las especies de madera, tienen el mismo comportamiento en relación a los insumos para los acabados. Ejemplo: las maderas porosas necesitarán mayor aplicación de insumos en el acabado de los productos que las maderas de poros finos; algunas reaccionan a diversos productos con manchas en las superficies acabadas; la presencia de resina en algunas especies no permiten la adherencia adecuada de la laca al producto. Se recomienda la realización de pruebas de adherencia antes de una aplicación industrial.

Utilidad de la guía de contenidos “Técnicas de Secado de la Madera”.

La presente guía está dirigida a los empresarios de las MYPE del sector de muebles y carpintería en madera, con la finalidad de mejorar su práctica de secado natural de la madera y apropiarse de criterios técnicos que le permitan evaluar la conveniencia del secado artificial de la madera, como una forma de asegurar el contenido de humedad requerido en los distintos mercados de destino de sus productos a los que puede o quiere acceder como empresa.

Los conocimientos, teóricos y prácticos, que se desarrollan en esta guía de contenidos permitirán a los empresarios:

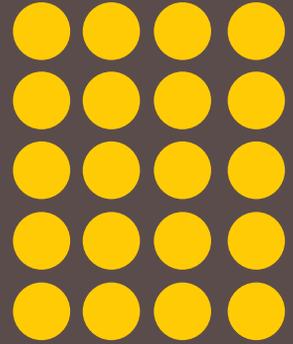
- Conocer las ventajas y desventajas del secado natural y del secado artificial de la madera.
- Mejorar su práctica en el acondicionamiento del patio de secado, apilado de la madera y el uso del higrometro en el secado natural.
- Manejar criterios para evaluar diferentes propuestas de servicio de secado artificial, en función de los cuales puede decidir que empresa le puede dar un servicio de calidad.
- Comparar los beneficios y diferencias entre el secado natural y el secado artificial.

La presente guía de contenidos “Técnicas de Secado de la Madera” está organizada en cinco (05) módulos los cuales contienen objetivos de aprendizaje y contenidos específicos, como se describen a continuación:

Objetivos por módulo	Contenidos
Módulo 1 (M1) Anatomía de la madera	
Reconocer los elementos anatómicos de la madera que influyen en el proceso de secado.	Definición de madera. Partes del tronco. Anatomía de la madera. Tipos de corte de la madera. Propiedades de la madera. El agua en la madera.
Módulo 2 (M2) Secado de la madera	
Conocer los fundamentos del proceso de secado.	Movimiento del agua en la madera. Proceso básico de secado. Factores para un secado de calidad. Bases físicas del secado de madera. Condiciones básicas para un secado de calidad. Métodos de medición del contenido de humedad. Defectos producto de un mal secado de la madera. Tipos de secado de la madera.
Módulo 3 (M3) Secado natural	
Manejar criterios básicos para realizar adecuadamente el secado natural de la madera.	Condiciones para el secado natural. Proceso para el secado natural con pilas horizontales. Duración del proceso en el secado natural. Seguridad y protección personal en el proceso de secado.
Módulo 4 (M4) Secado artificial	
Identificar el proceso y las características del secado artificial de la madera.	Variables de control del secado artificial. Proceso de secado artificial. Defectos en el secado artificial. Criterios para seleccionar un servicio de secado artificial. Seguridad y protección personal en el proceso de secado artificial.
Módulo 5 (M5) Relación costo beneficio del uso de madera seca	
Identificar los factores cuantitativos y cualitativos del secado de la madera.	Factores cuantitativos. Factores cualitativos.

M1

ANATOMÍA DE LA MADERA



DEFINICIÓN DE MADERA

La madera es un material orgánico, compuesta por carbono, oxígeno e hidrógeno. Esta conformada por diferentes tipos de células, en su mayoría alargadas y ahusadas, pero huecas, de ahí su naturaleza porosa.

La madera cuando forma parte del tronco de los árboles, sirve para transportar el agua y las sustancias nutritivas del suelo hacia las hojas, da soporte a las ramas que sostienen la copa y fija las sustancias de reserva almacenando los productos transformados por las hojas². Estas funciones determinan las características de porosidad y elevada resistencia con respecto a su peso.

Anatómicamente, la madera está constituida por células longitudinales y transversales de distintas características según la función que desempeñan. La célula longitudinal transporta el agua de las raíces hacia la copa del árbol, mientras que la transversal apunta desde la médula hacia la corteza.

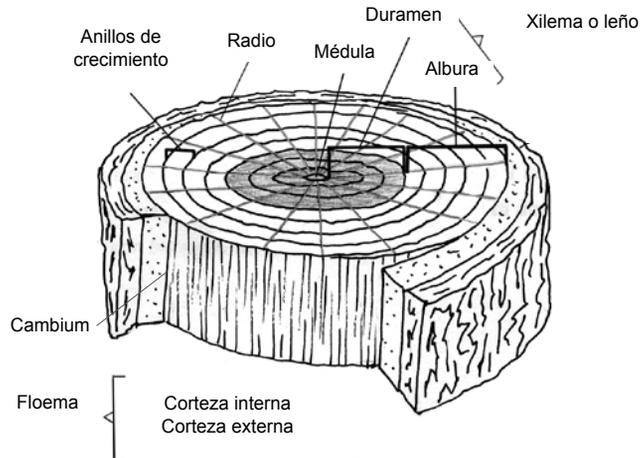
La disposición, abundancia y tipo de los tejidos que conforman la estructura de la madera, varía de acuerdo a cada especie. Estas particularidades generan una amplia variación de características anatómicas que tienen repercusión en las propiedades físico-mecánicas y en el procesamiento de cada tipo de madera, especialmente en el secado.

² Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas. Junta del Acuerdo de Cartagena. PRID-Madera. 1989.

PARTES DEL TRONCO

La madera se extrae del tronco del árbol. El tronco está compuesto por diversos elementos que le dan características particulares a la madera.

Dibujo N° 1 . Partes del tronco



Floema. Parte externa del tronco compuesta de tejido conductor que permite el transporte de nutrientes a todo el organismo vegetal. Consta de dos partes:

- **Corteza externa:** Tejido floemático muerto cuya función es proteger al tronco de los agentes atmosféricos (viento, sol, lluvia). Tiene propiedades aislantes, térmicas y acústicas.
- **Corteza interna:** Tejido floemático vivo cuya función es el transporte de nutrientes.

Cambium. Contiene las células de crecimiento del árbol; genera corteza hacia el exterior y leño hacia el interior.

Xilema o Leño: Constituye la madera propiamente dicha y tiene la función de soporte y tapón de líquidos. El Xilema está constituido por las siguientes partes:

Albura. Contiene las células vivas que almacenan las sustancias de reserva. Es la parte más externa de una troza, generalmente de color más claro que el duramen. Sus células están, permanentemente, llenas de agua y sustancias alimenticias. Susceptible de ser atacada por hongos e insectos.

Duramen. Constituido por las capas internas del leño (conocido, también, como corazón de la madera); se desarrolla cuando las células envejecen, dejando de conducir agua. Sus conductos o poros se encuentran obstruidos por sustancias químicas. Generalmente, es de color más oscuro y de mayor resistencia que la albura. Resistente al ataque de hongos e insectos.

Médula. Parte central de los tallos, formada por tejido blando y poroso. De ella parten los radios medulares hacia la periferia. Susceptible al ataque de hongos e insectos.

Anillos de crecimiento. Representan la cantidad de madera producida por el cambium. Cada anillo corresponde a un año de crecimiento.

En el cuadro N° 1 podemos apreciar ejemplos de cómo influyen estos elementos en las características y calidad de la madera.

Cuadro N° 1 . Influencia de las partes del tronco en las características y calidad de la madera

Elemento	Características y calidad de la madera
Corteza.	Dada que la corteza es eliminada en el proceso de transformación, esta no influye en el procesamiento de la madera.
Albura.	Esta parte es bastante propensa a sufrir ataques de hongos e insectos, por lo que se recomienda no incluirla en la madera a trabajar, sobre todo en usos estructurales.
Duramen.	Material leñoso o madera propiamente dicha, que se utiliza como materia prima de todo tipo de productos maderables. Por lo general es resistente al ataque de hongos e insectos.
Anillos de crecimiento.	Su presencia, según tipo de corte, define la estabilidad en la pieza de madera, así como la apariencia ("look") decorativa de la madera.

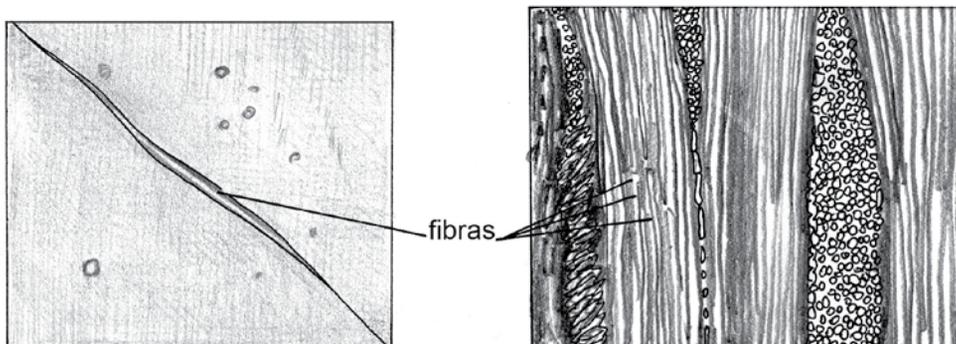
ANATOMÍA DE LA MADERA

Como se mencionó anteriormente, la madera está conformada por células de diferentes tipos que cumplen funciones específicas y que siempre se orientan en tres sentidos principales del tronco. La naturaleza, abundancia y agrupamiento de estos elementos no solo definirán las características de la madera como material, sino también tendrán influencia en algunas etapas del procesamiento de la misma. Estas células son las siguientes:

Fibras. Elemento principal de la madera, define muchas de sus propiedades como la densidad, resistencia mecánica, contracción e hinchamiento, capacidad de aislamiento acústico y eléctrico, y flexibilidad. Su función es proporcionar resistencia mecánica al árbol. Se orientan en sentido paralelo al eje longitudinal del tronco (Sentido longitudinal). Las fibras según sus características influyen en la trabajabilidad de la madera. Así se tiene que:

- **Fibras encontradas**, como en el Shihuahuaco o el Tornillo, su presencia requiere de un secado lento.
- **A mayor espesor de pared de fibra**, como en el Shihuahuaco, Estoraque o Quinilla, mayor densidad básica, contracción e hinchamiento, y mayor resistencia mecánica.

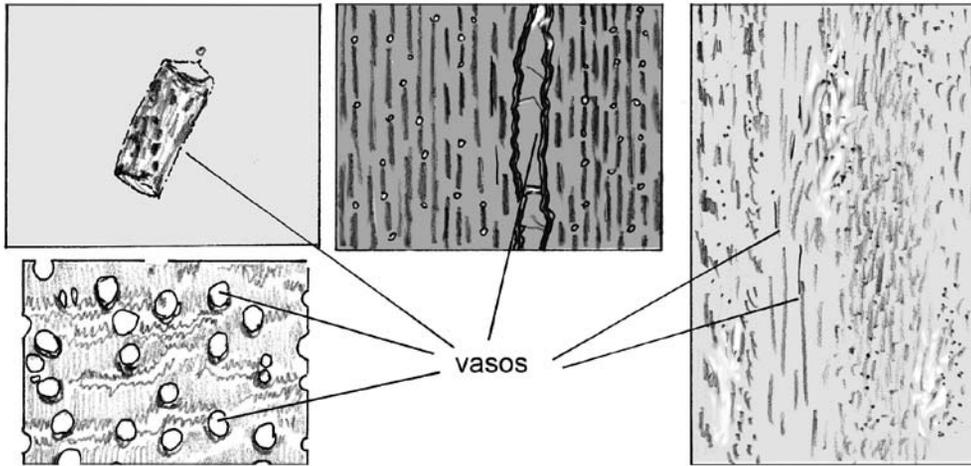
Dibujo N° 2 . Fibras en la Madera



Vasos o poros. Están formados por elementos que transportan el agua y las sustancias que van desde la raíz hacia las hojas. Se orientan en sentido paralelo al eje longitudinal del tronco (Sentido longitudinal).

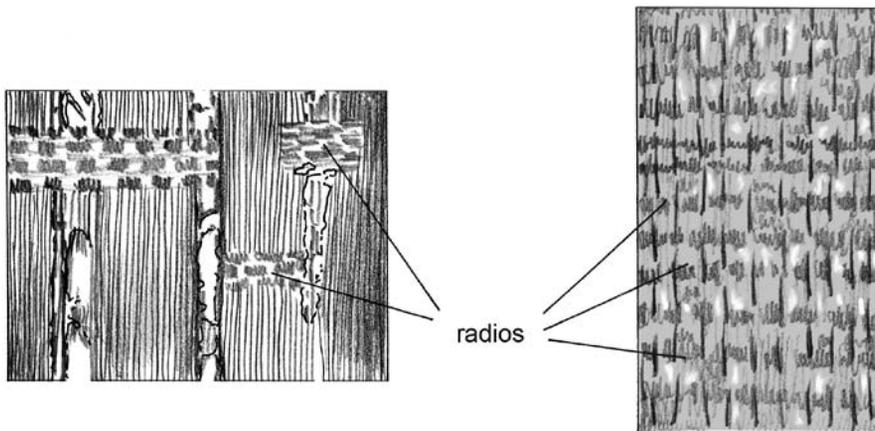
- **Poros muy pequeños o poco abundantes**, como en la Quinilla o en la Capirona, dificultan la salida del agua de la madera en el proceso de secado.
- **Poros tapados**, abundantes en gomas, como en el Nogal y en la Moena Rosada, dificultan la salida del agua de la madera en el secado.
- **Poros tapados por cristales y sílice**, demoran el proceso del secado.
- **Poros muy grandes (textura gruesa) y abundantes**, como en el Tornillo, permiten un proceso de secado mas rápido.

Dibujo N° 3 . Vasos o poros



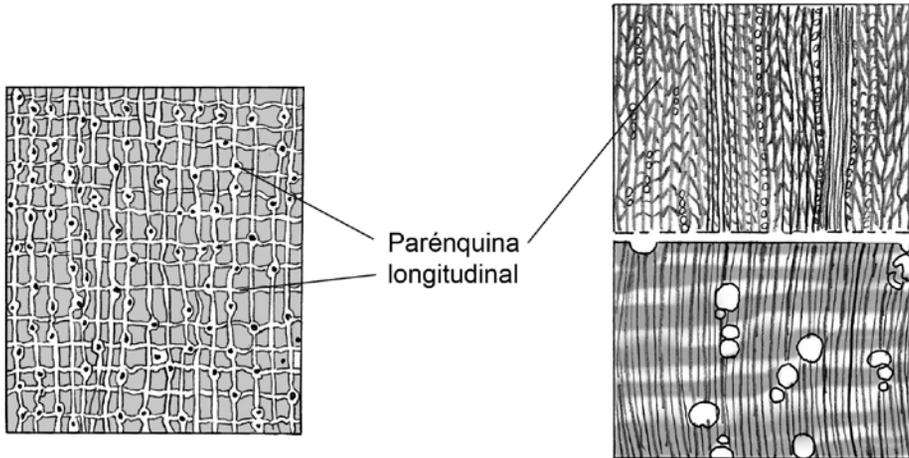
Radios. Células cuya función es el transporte horizontal y reserva de sustancias. Se orientan en sentido perpendicular al eje del árbol. Van de la médula hacia la corteza (Sentido radial).

Dibujo N° 4 . Radios



Parénquima longitudinal. Son células más cortas y por lo general más claras que las fibras. Cumplen las funciones de conducción y reserva de sustancias. Se orientan en sentido paralelo al eje longitudinal del tronco (Sentido longitudinal).

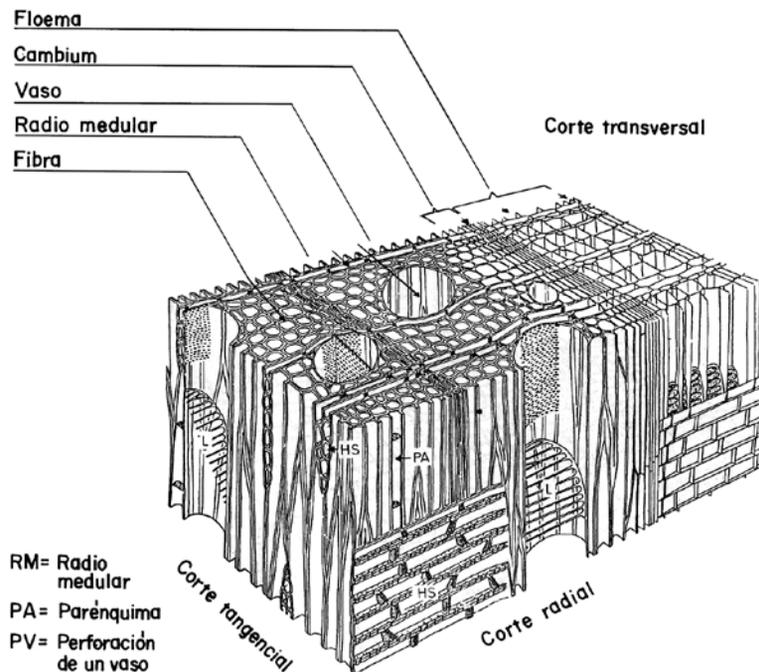
Dibujo N° 5 . Parénquima longitudinal



En la parte de descripción de los tipos de corte de la madera, se vera la influencia de radios y parénquimas en el procesamiento de la madera.

En el dibujo N° 6 podemos apreciar la estructura anatómica de una madera y los tipos de cortes.

Dibujo N° 6 . Estructura anatómica de la madera y tipos de corte.



Al igual que la estructura anatómica de la madera, los tipos de corte también influyen en el procesamiento de la madera.

TIPOS DE CORTE DE LA MADERA

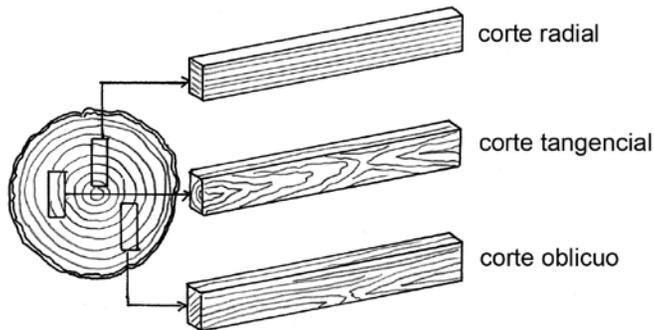
El aserrío o corte de la madera, puede ser de tres tipos: Radial, tangencial u oblicuo.

Corte o plano radial. Es el corte paralelo al eje longitudinal del tronco en el que la cara de mayor superficie es paralela a los radios y perpendicular a los anillos de crecimiento. Las puertas (parantes), cubiertas de mesas y pisos, deben usar madera con corte radial ya que tiene un menor cambio dimensional de la pieza.

Corte o plano longitudinal o tangencial. Es el corte paralelo al eje del tronco en el que la cara de mayor superficie es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular a los radios. Generalmente se usa para chapas decorativas porque el veteado que se origina en la madera es más vistoso.

Corte oblicuo. Es el corte paralelo al eje del tronco, siendo intermedio entre el corte radial y tangencial.

Dibujo N° 7 . Tipos de corte de la madera



EL AGUA EN LA MADERA

La madera recién cortada tiene un alto contenido de humedad debido a sus funciones de transporte de agua y nutrientes cuando es árbol.

En la madera, el agua se encuentra de tres formas:

- Agua libre.
- Agua de saturación.
- Agua de constitución.

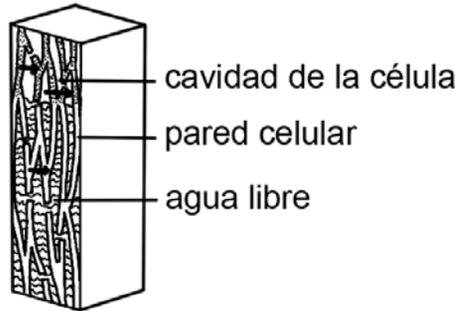
Agua libre. Ocupa los lúmenes o cavidades celulares de la madera. Se elimina con facilidad porque es la primera en evaporarse. Al extraerse no genera cambios dimensionales.

Agua de saturación, higroscópica o ligada. Contenida en las paredes celulares, se requiere mayor energía para extraerla. Su extracción produce cambios dimensionales.

Agua de constitución. Contenida en las paredes celulares, para eliminarla es necesario carbonizar la madera. Al extraerse el agua se reduce la resistencia de la madera.

En el dibujo N°8 podemos apreciar la composición del agua en la madera.

madera verde



PROPIEDADES DE LA MADERA

Las propiedades de la madera que influyen en el proceso de secado son:

- Higroscopicidad:
- Anisotropía:
- Densidad.

Higroscopicidad. Propiedad de la madera de intercambiar agua con el ambiente que la rodea, es decir, la madera puede absorber o ceder agua del ambiente, dependiendo de las condiciones de humedad relativa y temperatura del entorno.

Cuando el contenido de humedad de la madera llega a mantenerse en equilibrio con la humedad relativa y la temperatura del ambiente donde se encuentra, se dice que la madera ha llegado a su humedad de equilibrio. Este contenido de humedad permanecerá constante mientras las condiciones del ambiente (T° y humedad) que rodea a la madera no cambien.

Anisotropía. La anisotropía se refiere al diferente o desigual comportamiento de la madera en sus tres ejes (longitudinal, radial, tangencial) con respecto al cambio dimensional.

En el proceso de secado el comportamiento de la madera frente a la contracción es muy importante; ya que en este proceso la madera se reduce, en promedio, de $1/16''$ a $1/8''$ en el espesor.

La contracción de la madera siempre es mayor en el eje tangencial que en el radial o longitudinal, siendo aproximadamente el doble que la radial. La contracción longitudinal en la madera al ser mínima, no se toma en cuenta.

En el siguiente cuadro podemos apreciar ejemplos de la relación entre la contracción tangencial (CT) y la contracción radial (CR) y su influencia en la estabilidad de la madera.

Cuadro N° 2 . Relación entre la contracción tangencial y radial en la estabilidad de la madera

Nivel de estabilidad	Rango
Muy estable	Menor de 1.50
Estable	De 1.50 a 2.50
Inestable	De 2.51 a 3.00
Muy inestable	Mayor de 3.00

La higroscopicidad y la anisotropía son las propiedades por las cuales se originan grietas y deformaciones en la madera. Estos defectos se producen por una salida brusca de agua de la madera, causada por condiciones de cambios ambientales drásticos.

Densidad. La densidad de la madera (DM) se obtiene de dividir el peso de la madera entre el volumen que ocupa.

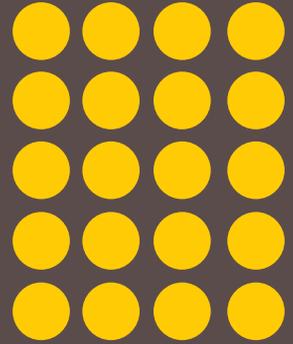
$$DM = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

La densidad de la madera varía de acuerdo a la cantidad de agua (contenido de humedad) que posee y de la especie a la que pertenece (constitución anatómica).

Para fines de determinación de las características de las especies, se determina la densidad en función a su peso seco constante, de ahí que se clasifiquen las especies en maderas: blandas, medias o duras. Este tipo de densidad se relaciona con la dureza y la resistencia mecánica, a mayor densidad mayor dureza y resistencia mecánica de la madera.

M2

SECADO DE LA MADERA



El secado de madera es el proceso mediante el cual se elimina el exceso de agua en la madera. Se aplica con el propósito de estabilizar a la madera para un óptimo procesamiento y trabajabilidad.

Una madera adecuadamente seca:

- Mejora la estabilidad dimensional y performance de la madera. La madera seca mantiene sus dimensiones durante su transformación y después de su manufactura.
- Disminuye la presencia de defectos, como arqueamientos, despegues, abertura de uniones, rajaduras, entre otros.
- Aumenta la resistencia física, mecánica y biológica (ataque de hongos e insectos).
- Mejora las condiciones de la trabajabilidad y del acabado final de los productos.

Sin embargo, para asegurar el abastecimiento oportuno y la calidad de la madera se debe tener en cuenta que:

- La materia prima está inmovilizada durante el proceso de secado, generando la necesidad de un stock y la inmovilización de capital, el cual puede variar de 15 a 25 días, según especie y espesor.
- En el secado natural o al aire libre, ni el tiempo de secado ni el contenido de humedad pueden ser controlados con precisión ya que depende de las condiciones climáticas del lugar donde se realiza el secado y de la época del año en el que se realiza. Los procesos de secado pueden alcanzar los 4 meses para contenidos de humedad final del 20% al 14%.

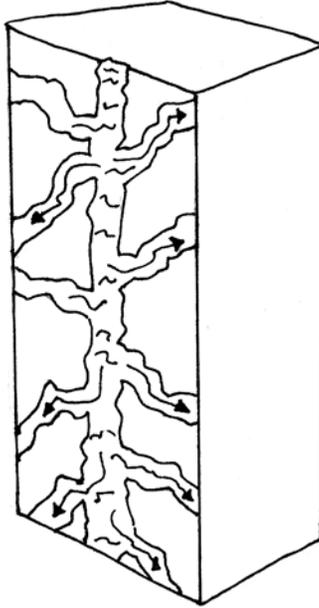
MOVIMIENTO DEL AGUA EN LA MADERA

Para aprovechar mejor las ventajas del secado es necesario conocer como se mueve el agua al interior de la madera.

Como se menciono anteriormente, el agua en la madera se presenta como: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución, siendo removidas durante el proceso de secado (natural o artificial) el agua libre y el agua higroscópica en la madera.

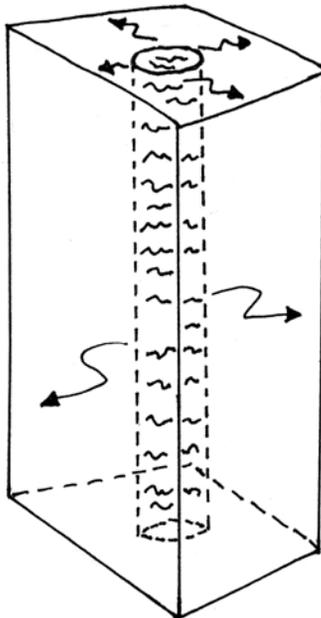
El proceso de secado se basa en el principio físico de capilaridad del agua, el cual permite que el agua avance por canales microscópicos de un lugar a otro; es así que el agua en la madera se mueve del interior al exterior por diferencia de presión, generada por el secado superficial del agua en las capas externas de la madera.

Dibujo N° 9 . Principio de capilaridad del agua



El agua en una pieza de madera se desplaza del interior hacia las caras superficiales y hacia los extremos, manteniendo la humedad en el centro de la pieza; por ello cuando se corta una tabla de madera en sentido longitudinal o transversal, y aunque en el exterior tenga una apariencia de seca, en el interior se presenta una mancha húmeda o al tacto se tiene una sensación de húmedo y frío.

Dibujo N° 10 . Desplazamiento del agua del interior a la superficie



PROCESO BÁSICO DEL SECADO

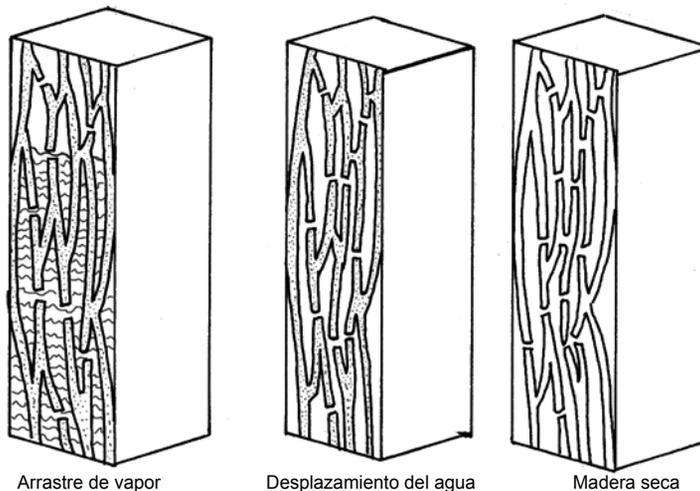
En los procesos de secado, natural o artificial, el medio de secado es el aire, el cual por arrastre absorbe la humedad superficial de la madera. En el **secado artificial**, se mantienen las condiciones climáticas para hacer que el aire dentro de la cámara, este constantemente seco y arrastre la humedad superficial de la madera, suministrando calor (temperatura) y controlando la humedad relativa del aire en la cámara con el uso de ventiladores y rociadores de agua. Mientras que en el **secado natural** como las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) no son controlables, se prevén las mejores condiciones de ventilación y de circulación de flujo de aire.

Por ello es importante, tanto el secado natural y/o artificial el correcto emparillado y apilado de las rumas de madera a fin de que faciliten la circulación del aire entre las tablas.

En el proceso de secado, en la madera se produce:

- **Arrastre de vapor** de agua de la superficie de la madera por el aire.
- **Desplazamiento del agua** del interior de madera hacia las caras y los extremos (exterior) por efecto de capilaridad del agua.

Dibujo N° 11 . Arrastre de vapor y desplazamiento del agua en el proceso de secado



FACTORES PARA UN SECADO DE CALIDAD

Para que el proceso de secado se realice de manera eficiente y se logre contar con madera seca de calidad, es necesario tomar en cuenta los siguientes factores:

Especie de madera. No se deben mezclar las especies de madera a secar, sobre todo en un proceso de secado artificial, ya que **cada especie responde distinto a los diversos programas de secado.**

Espesor de la madera. No se debe mezclar tablas de diversos espesores, ni por rumas ni por cargas (secado artificial). Lo ideal es secar madera de una especie y de un espesor. En caso contrario se podrá combinar espesores de una diferencia no mayor a $\frac{1}{2}$ ". Se recomienda no secar espesores mayores de 2" porque no es eficiente. Se debe secar madera de un mismo espesor.

Contenido de humedad inicial de la madera. En lo posible la humedad inicial debe ser homogénea. Al realizar el secado, en tablas de diferentes contenidos de humedad armadas en una misma pila o ruma, se puede generar:

- Dar por terminado el proceso de secado cuando aún hay tablas que no han llegado al contenido de humedad requerido.
- Que algunas tablas se rajen por resequedad, ya que están sometidas a un proceso de secado mayor al requerido.

Anisotropía e Higroscopicidad. Provocan cambios en las dimensiones de la madera, por lo cual debe considerarse una demasía de un 1/16” a 1/8” en el espesor, según la especie.

Contenido de humedad final. La madera se debe secar tomando en cuenta el lugar donde será procesada y el uso que se le dará (tipo de producto y ubicación en espacios abiertos o cerrados). Se recomienda los siguientes contenidos de humedad:

- Ambientes con aire acondicionado: 8 a 10%
- Lima ciudad: 10 a 12%
- Lima playa: 12 a 14%

Zona de extracción de la madera o procedencia. Dependiendo de la zona de donde se extraiga la madera (Selva alta, Selva baja) las características de densidad, humedad, dureza, etc., serán diferentes, por lo que es necesario homogenizar la carga con madera de un mismo lugar o lote de procedencia.

BASES FÍSICAS DEL SECADO DE MADERA

Las bases físicas del proceso de secado de la madera son:

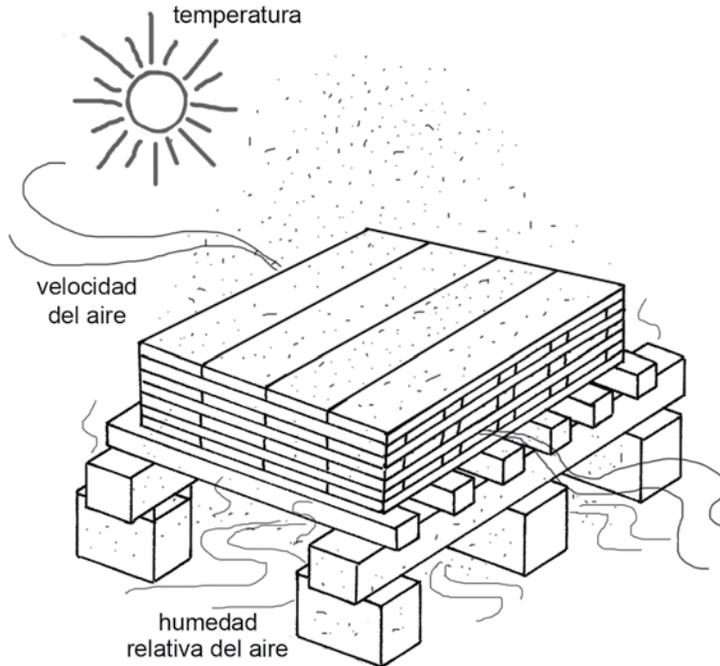
- Temperatura.
- Humedad relativa del aire.
- Velocidad del aire.
- Gradiente de secado.

Temperatura. Es un factor de aceleración de la evaporación. En el interior de la pieza, la temperatura condiciona la velocidad de movimiento del agua. A mayor temperatura, mayor velocidad de movimiento del agua.

Humedad relativa del aire. Se define como la cantidad de vapor de agua contenido en un volumen determinado de aire. La cantidad de vapor de agua presente en el aire puede variar entre límites muy amplios. La cantidad de vapor determina el movimiento de la humedad, por lo tanto, la velocidad de secado de la madera. A menor contenido de humedad en el aire, mayor velocidad de secado de la madera.

Velocidad del aire. Dentro de una estiba de madera la velocidad del aire tiene dos finalidades:

- 1) Transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en la madera facilitando así su evaporación.
- 2) Transportar el vapor de agua saliente de la madera.



Gradiente de secado. Es la relación entre el contenido de humedad real de la madera (CH real) y el contenido de humedad de equilibrio (CHE).

$$GS = \frac{CH \text{ real}}{CHE}$$

- GS : Gradiente de secado.
- CH real : Contenido de humedad de la madera.
- CHE : Contenido de humedad de equilibrio.

Ejemplo:
 - En una madera con 40% de CH real y 20% de CHE, la **gradiente de secado (GS)** sería:

$$GS = \frac{40}{20} = 2$$

En el siguiente cuadro se ejemplifica el cálculo de la gradiente de secado artificial de cuatro especies de madera.

Cuadro N° 3 . Gradiente de Secado en programas de secado artificial

Especies	MC	EMC	T°	HR	GS
Shihuahuaco	30	15	46	73	2
Estoraque	30	15	51	74	2
Cedro	30	14	54	67	2.1
Tornillo	30	12	54	60	2.5

- MC** = Humedad promedio de las sondas o testigos.
EMC = Humedad de equilibrio de la cámara de secado.
T° = Temperatura dentro de la cámara de secado
HR = Humedad relativa dentro de la cámara
GS = Gradiente de secado ($GS = MC / EMC$)

En el **secado natural**, la gradiente de secado depende de las condiciones ambientales.

En el **secado artificial**, la gradiente de secado se puede controlar y generar un contenido de humedad de equilibrio, en la cámara de secado, de acuerdo al programa de secado. La gradiente de secado varía de acuerdo a la etapa de secado durante el proceso en la cámara, siendo mayor cuando se quiere disminuir rápidamente el contenido de humedad de la madera.

La magnitud de la gradiente de secado depende de la especie, espesor y la etapa del programa de secado. Una gradiente de secado demasiada elevada acelera el proceso pero puede producir un secado muy rápido de las capas superficiales de la madera llegando al colapso en la madera y a su pérdida total como materia prima.

CONDICIONES BÁSICAS PARA UN SECADO DE CALIDAD

Además de tomar en cuenta los factores y las bases físicas; para un secado de calidad se deben cumplir las siguientes condiciones:

Apilado correcto. Se debe tomar en cuenta el espesor de la madera y en función a ello, el espesor de los separadores. Los separadores deben mantener una distancia igual por fila de madera y una columna igual en la ruma. Deben hacerse de madera seca.

Dimensionamiento de la carga. Se debe tomar en cuenta el largo y espesor de la madera, así como el alto de las rumas, en especial para el secado en cámaras.

Supervisión del proceso. Debe supervisarse diaria o interdiariamente en el secado al aire y dos veces al día en el secado en cámaras, a fin de monitorear el correcto proceso de secado y tomar las acciones correctivas que sean necesarias durante el proceso.

Infraestructura adecuada. El lugar para realizar el secado debe estar adecuadamente acondicionado.

Personal capacitado. El personal encargado debe manejar los criterios y técnicas del proceso de secado, con experiencia en el apilado y control de secado de madera.

Cada una de estas condiciones las veremos en detalle en los módulos 3 y 4 para el secado natural y el secado artificial.

En conclusión:

Como hemos visto en el módulo 1 y en el presente módulo, conocer las propiedades de la especie de madera, el movimiento del agua en la madera, el proceso básico del secado; así como tomar en cuenta las bases físicas, factores y condiciones en el proceso de secado, son imprescindibles para estructurar un programa de secado eficiente.

MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad de la madera se puede medir mediante métodos gravimétricos, donde se mide la diferencia de peso de testigos, o bien mediante métodos eléctricos basados en la variación de la resistencia eléctrica que se produce en la madera húmeda.

Método Gravimétrico. Es el cálculo del contenido de humedad (CH) por comparación del peso de la madera antes de someterla al proceso de secado y después del proceso de secado. Este método consiste en extraer una muestra pequeña de madera y pesarla. Se expone la muestra a una temperatura de 130° C hasta lograr que el peso sea constante.

Para saber que el peso es constante, se realizan pesajes de control cada cierto tiempo. Cuando, en sucesivas mediciones, la madera alcanza el mismo peso quiere decir que el peso es constante.

Foto N° 1 . Método Gravimétrico del contenido de humedad

<p>Paso 1: Determinar el peso inicial (húmedo) de cada probeta (muestra) obtenida de la pieza de madera de la cual se quiere conocer la humedad. Se utiliza una balanza de precisión.</p>	
<p>Paso 2: Colocar las probetas en una estufa a 103+/-2°C. Se va pesando la probeta cada cierto tiempo (puede ser cada 2, 4 o 6 horas). Se deja en la estufa hasta que alcancen peso constante (el mismo peso en varias pesadas).</p>	
<p>Paso 3: Colocar las probetas en un desecador que contenga una sustancia higroscópica para que absorba cualquier excedente de humedad. Se dejan las probetas 10-15 minutos.</p>	
<p>Paso 4: Determinar el peso seco (al 0% de contenido de humedad) o final. Se utiliza la misma balanza que en el paso 1.</p>	
<p>Paso 5: Calcular el Contenido de humedad.</p>	$\% CH = \frac{Ph \times 100}{Po}$

Para calcular el contenido de humedad se aplica la siguiente fórmula:

$$\%CH = \frac{Ph - Po \times 100}{Po}$$

Donde:

%CH : Porcentaje de contenido de humedad de la madera
Ph : Peso de la madera húmeda o inicial.
Po : Peso de la madera anhidra o seca

Ejemplo:

Madera: Cachimbo rosado (*Cariniana domesticata*)

Ph (peso húmedo o inicial): 67.13g

Po (peso seco o anhidro o al 0% de CH): 56.97g

$$\%CH = \frac{67.13 - 56.97 \times 100}{56.97} = 17.83\%$$

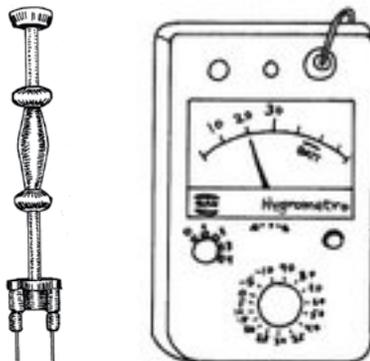
Por tanto:

El contenido de humedad de la madera es de 17.83%.

Método Eléctrico. Es la medición del CH usando el **higrómetro**. El higrómetro puede ser:

- **De resistencia.** Tiene electrodos que son introducidos en la mitad del espesor de la tabla para registrar el nivel de humedad. El largo de los electrodos está en función de los espesores de las tablas a medir. Se recomienda de 2 a 3 medidas por tabla. Es un instrumento de perforación por lo que solo se usa para el control de madera en tablas.

Dibujo N° 13 . Higrómetro de resistencia



- **De contacto.** Se apoyan en la superficie de la madera, sin perforarla. Para lograr una adecuada lectura, se coloca la pieza sobre tacos y el higrómetro en un lugar distante de los tacos, ya que el higrómetro podría medir el contenido de humedad de la pieza y de la base sobre la que está colocada la madera. Se recomienda su aplicación para tablas o piezas habilitadas y en el producto final. Se obtiene buenos resultados en espesores de hasta 1.5”.

Dibujo N° 14 . Higrómetro de contacto



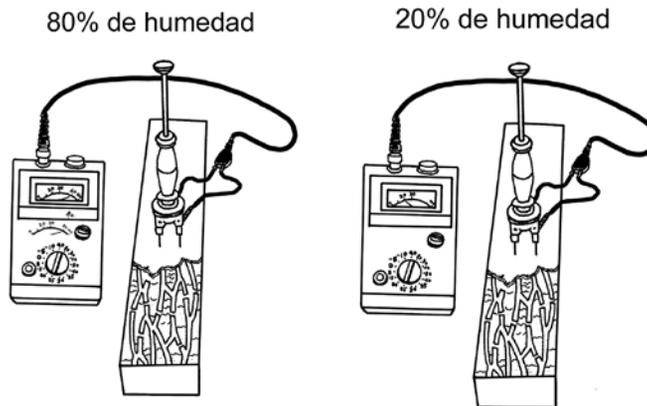
Algunos higrómetros de contacto permiten ingresar, como dato, la densidad básica de la madera, permitiendo una lectura más real. Ambos tipos de higrómetros tienen selectores. En estos selectores se especifica:

- El tipo de madera.
- La temperatura ambiente.

El funcionamiento de los higrómetros se basa en las siguientes propiedades físicas de la madera:

- **Conductividad eléctrica.** La madera seca es un buen aislante eléctrico; esta capacidad disminuye con el aumento de humedad.
- **Constante dieléctrica.** La madera es mala conductora de electricidad, amortigua la fuerza de un campo eléctrico que la atraviese.

Dibujo N° 15 . Funcionamiento del higrómetro



El conocimiento del contenido de humedad de la madera es fundamental para la conducción del proceso de secado y para el control de la calidad en el producto a elaborar.

Un proceso de secado mal llevado determina la aparición de defectos en la madera.

DEFECTOS PRODUCTO DE UN MAL SECADO DE MADERA

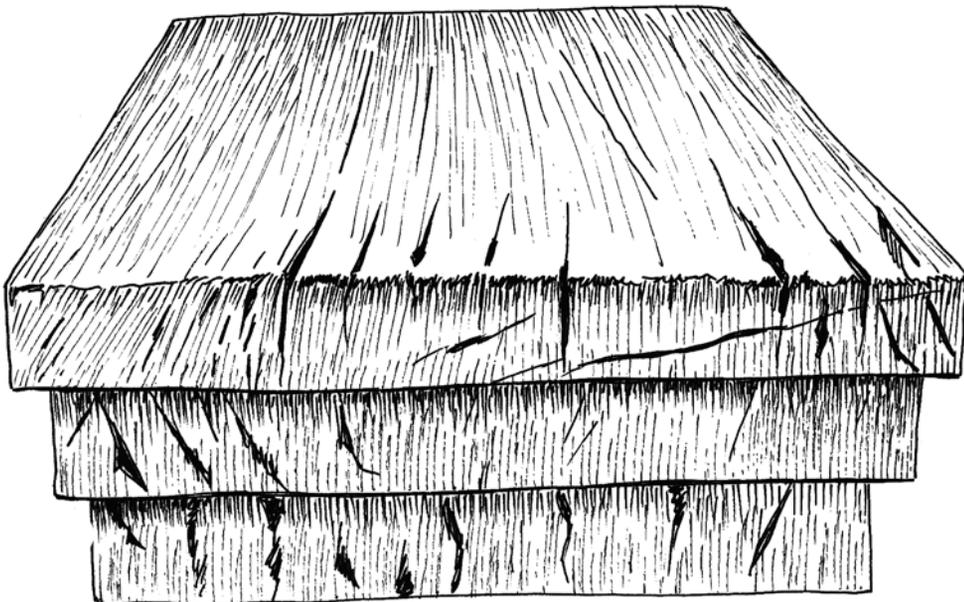
Grietas superficiales, internas o en la cabeza. Son causadas por el resecamiento de la capa superficial de las tablas debido a una gradiente de secado muy alto al comienzo del proceso de secado.

Dibujo N° 16 . Presencia de grietas en la madera



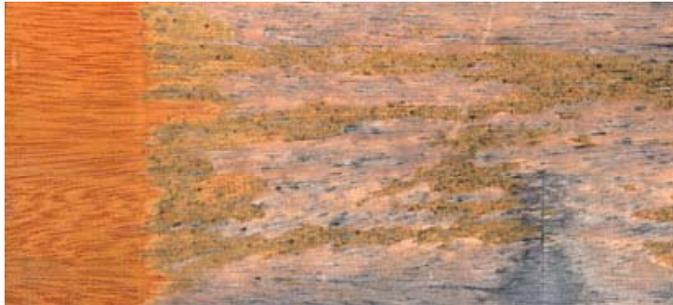
Colapso de la madera. Causado por el secado abrupto de la capa superficial de la madera, debido a una gradiente de secado muy alto durante el proceso, ocasionando que la madera colapse.

Dibujo N° 17 . Colapso de la madera



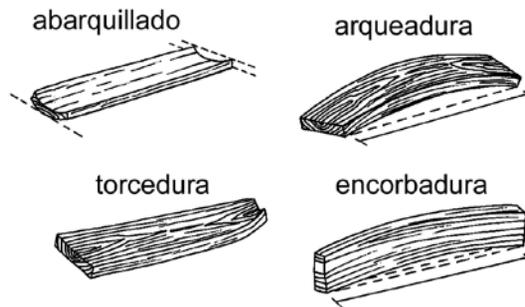
Cambios en la coloración: Azulado o presencia de manchas. Causado por una inadecuada circulación de aire entre las tablas y exceso de humedad en la cámara o del ambiente, generando condiciones propicias para la propagación de hongos cromógenos (sólo afectan el color de la madera). Estas manchas no afectan la estructura de la madera.

Foto N° 2 . Cambios en la coloración



Alabeos, abarquillado, arqueadura, encorvadura, torceduras. Algunos de estos defectos se presentan por un mal emparrillado (distribución inadecuada de las cargas o peso sobre las tablas).

Dibujo N° 18 . Defectos por mal emparrillado en el secado de la madera



TIPOS DE SECADO DE LA MADERA

El hombre desde tiempos muy remotos, ha reconocido las ventajas de secar la madera antes de utilizarla. Es así, que los ebanistas de todos los tiempos han realizado el apilado de la madera para provocar su secado antes de utilizarla. Sin embargo, como respuesta a los daños e inconvenientes que tienen los productos y muebles de madera en diferentes condiciones de ambiente, y el conocimiento cada vez más amplio sobre la correlación del contenido de humedad de la madera, por una parte, y la temperatura y humedad relativa del medio ambiente, por otra, facilitó el desarrollo de tecnologías de secado en forma artificial.

En la actualidad existen dos tipos de secado de la madera:

- **Secado natural**, también llamado convencional, al aire libre o al ambiente.
- **Secado artificial**, también llamado secado técnico.

Foto N° 3 . Tipos de secado



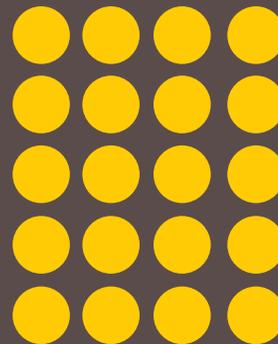
Secado natural



Secado artificial

Cada uno de los tipos de secado, se desarrollaran en los siguientes módulos de la presente guía.

M3 SECADO NATURAL



En el secado natural, la madera, adecuadamente apilada, se expone a la acción de los factores climáticos (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire) del lugar donde está apilada.

Para una mayor eficiencia del secado natural es necesario tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- Un patio de secado adecuadamente acondicionado.
- Uso de separadores adecuados.
- Apilado correcto de la madera.

CONDICIONES PARA EL SECADO NATURAL

Patio de secado. Un patio de secado adecuadamente acondicionado requiere de cumplir tres condiciones básicas:

1. Localización del patio de secado.
2. Preparación del terreno.
3. Mantenimiento del patio de secado.

Veamos cada una de las condiciones señaladas.

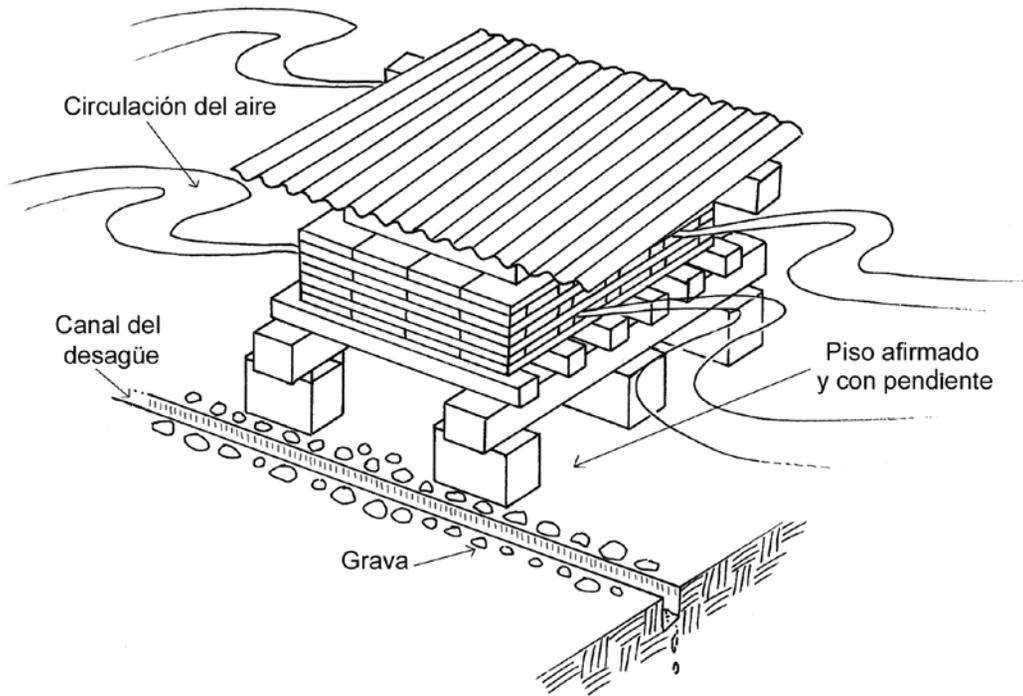
1. **Localización:** El patio de secado debe estar ubicado:

- En una zona que garantice la circulación de aire alrededor de cada tabla para lograr un secado uniforme. De preferencia en un lugar libre de edificaciones y árboles altos.
- En una zona libre de malezas, desperdicios y charcos de agua para evitar la obstrucción en la circulación del aire y fuentes de humedad.

2. **Preparación del terreno.** Antes de secar madera debe prepararse el terreno de tal manera que se garantice una mayor eficiencia del proceso de secado. La preparación del terreno incluye:

- Piso afirmado y con pendiente para facilitar el drenaje del agua ante posibles lluvias.
- El canal de drenaje debe estar en la parte delantera del patio y directamente conectado a las tuberías de desagüe. Si no se cuenta con un sistema de tuberías se debe colocar grava para evitar la acumulación de agua cerca de la madera.

Dibujo N° 19 . Patio de secado



3. Mantenimiento del patio de secado:

- Realizar, periódicamente, campañas fitosanitarias para combatir la presencia de hongos e insectos que pueden dañar la madera.
- Limpieza periódica del patio de secado para garantizar el buen funcionamiento del sistema de drenaje y circulación del aire entre las pilas.

Separadores. Los separadores o listones son elementos valiosos para garantizar un proceso de secado eficiente, deben reunir las siguientes características:

- Preparados con madera de grano recto y dimensionalmente estable.
- Tener alta resistencia mecánica.
- Estar secos y libres de torceduras y rajaduras.
- No se debe emplear maderas que exuden resinas o taninos para evitar defectos de manchas por contacto con las tablas a secar.

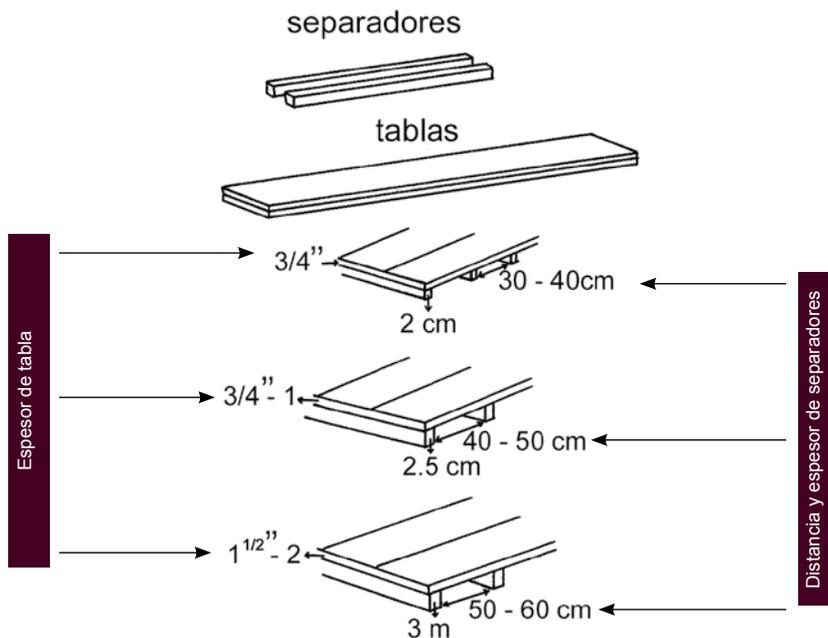
En el siguiente cuadro podemos apreciar el espesor que deben tener los separadores y la distancia a la que se deben colocar en relación al espesor de la madera:

Cuadro N° 4 . Espesor y distancia entre los separadores

Espesor de la madera (pulgadas)	Espesor de los separadores (cm.)	Distancia entre separadores (cm.)
Menor de 3/4"	2	30-40
3/4" - 1"	2.5	40-50
1 1/2" - 2"	3	50-60

En el dibujo N° 20 se gráfica el espesor y distancia que deben tener los separadores en relación con el espesor de la madera.

Dibujo N° 20 . Espesor y distancia de separadores según el espesor de la tabla



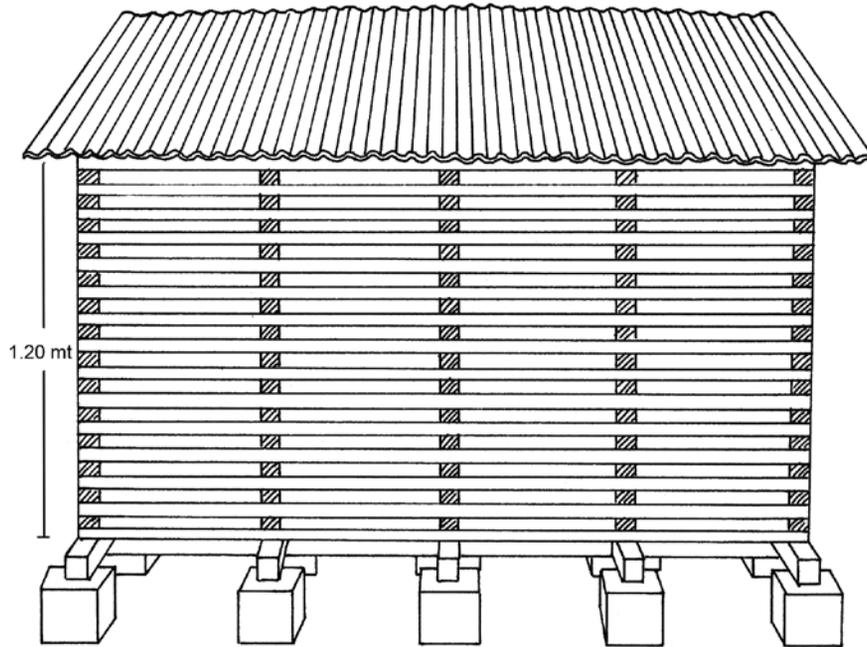
Apilado de la madera. El éxito del proceso de secado depende de un adecuado emparillado o apilamiento de la madera.

Existen tres formas de apilar madera en el secado natural:

- Horizontal.
- Triángulo.
- Caballete.

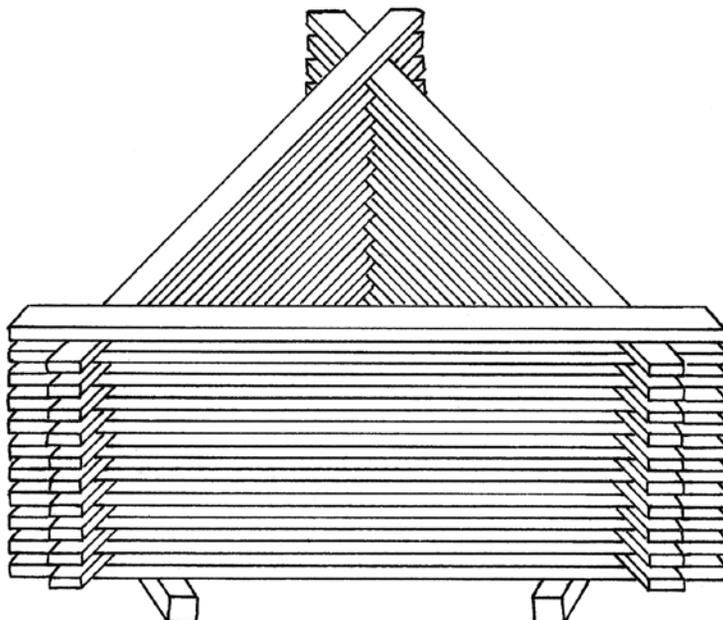
El **apilado horizontal** consiste en formar pilas horizontales con las tablas que se van a secar; colocadas una al lado de la otra y separadas verticalmente con listones o separadores. Adicionalmente, debe considerarse la preparación de tucos o tacos de madera de 4 x 4" sobre los cuales se coloca el emparillado, para evitar el contacto de la madera con el suelo.

Dibujo N° 21 . Apilado horizontal de la madera



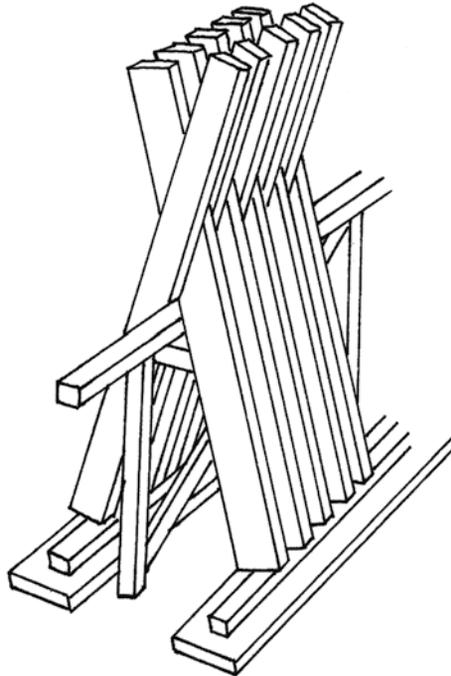
El **apilado en triángulo** consiste en la formación de pilas mediante el entrecruzamiento de los extremos de las piezas. En este tipo de apilado no se usan separadores.

Dibujo N° 22 . Apilado de la madera en triángulo



El **apilado en caballete o “X”** consiste en la colocación de las tablas reclinadas o cargadas de canto, sobre una viga transversal o soporte. En el extremo inferior se colocan sobre una guía separada del suelo.

Dibujo N° 23 . Apilado de la madera en caballete o X



Cada uno de estos tipos de apilado tienen ventajas y desventajas, las que veremos a continuación:

Cuadro N° 5 . Ventajas y desventajas por tipo de apilado

Tipo de apilado	Ventajas	Desventajas
Horizontal	<ul style="list-style-type: none"> - Mejor calidad de secado. - Se puede apilar mayor cantidad de madera. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ocupa más espacio. - Demora más tiempo.
Triangular	<ul style="list-style-type: none"> - Secado rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puntos de encuentro entre maderas quedan húmedos. - Mayor posibilidad de presencia de defectos: Alabeos y grietas. - Riesgo mayor de ataque de hongos en las partes de contacto.
En X o Caballete	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere menor espacio. - Secado rápido porque las piezas están expuestas, casi completamente, a la acción del medio ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se puede secar maderas con tendencia a torceduras porque hay mayor riesgo de alabeo. - La parte inferior seca más lentamente.

Como vemos en el cuadro N° 5, el apilado horizontal permite una mejor calidad de secado. A continuación se presenta el proceso a seguir para aprovechar sus ventajas.

PROCESO PARA EL SECADO NATURAL CON PILAS HORIZONTALES

Se toman en cuenta dos aspectos:

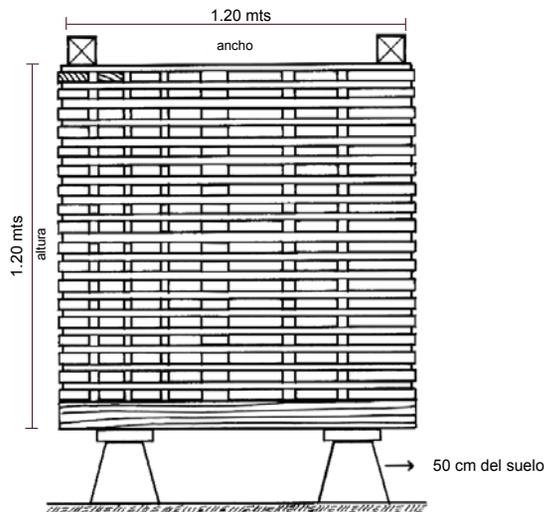
1. Preparación de rumas.
2. Distribución de las pilas en el patio de secado.

1. Preparación de Rumas.

Para la preparación de las rumas se debe tener en cuenta las siguientes pautas:

- a) Preparar las bases o cimientos donde descansarán las maderas (tucos de madera) y que la mantendrán alejada de la superficie del suelo, facilitando la evacuación del aire húmedo que desciende a través de la pila y tiende a permanecer en la parte baja. El espacio mínimo es de 50 cms.
- b) Las bases tienen que ser de material resistente y duradero. Si son de madera, estas deben ser previamente secadas y preservadas.
- c) Homogenizar las características de la madera, seleccionándolas teniendo en cuenta: La especie; el espesor; el lote o zona de procedencia, y la longitud de las tablas.
- d) El ancho de las pilas varía entre 1 y 2 metros, siendo el ancho más común 1.2 metros.
- e) Generalmente la altura de las pilas es de 1.2 metros; aunque puede ser mayor si se cuenta con una grúa montacarga.

Dibujo N° 24 . Vista lateral de una ruma sobre bases

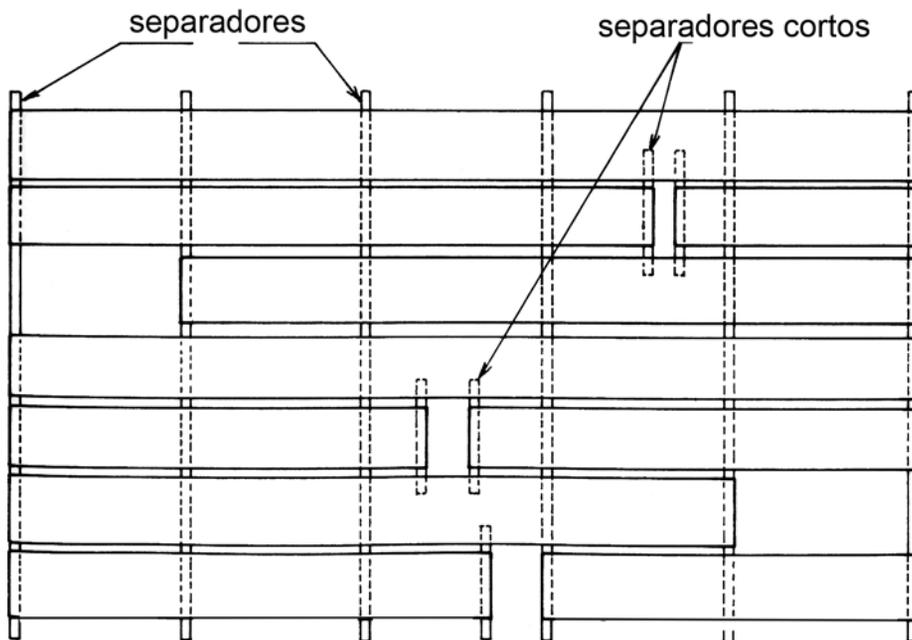


- f) Proteger los extremos de las tablas cubriéndola con pintura o una mezcla de sal y cal, sobre todo si los rayos solares pueden caer directamente a los extremos de las pilas.
- g) Si no se puede homogenizar las características de la madera, debemos tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Colocar las tablas más largas en la parte inferior y las más cortas arriba, tratando de mantener el largo del paquete.

- Si se arma distintos espesores en una ruma, es conveniente colocar la madera gruesa en la parte inferior y la delgada en la parte superior. Para evitar arqueamientos se puede colocar un peso o carga muerta para que haga presión en las tablas.
- Colocar las maderas más húmedas abajo, porque las maderas con menor contenido de humedad se secan más rápido y, por tanto, se pueden usar antes. En este caso se debe tener cuidado de colocar las piezas de mayor contenido de humedad, de tal forma, que permita el control del contenido de humedad que va alcanzado en el proceso de secado.
- Armar la ruma o paquete manteniendo los lados del paquete a escuadra, dejando algunos espacios interiores y colocando separadores en los sitios que requieren apoyo a las tablas interiores más cortas; como se muestra en el dibujo N° 25.

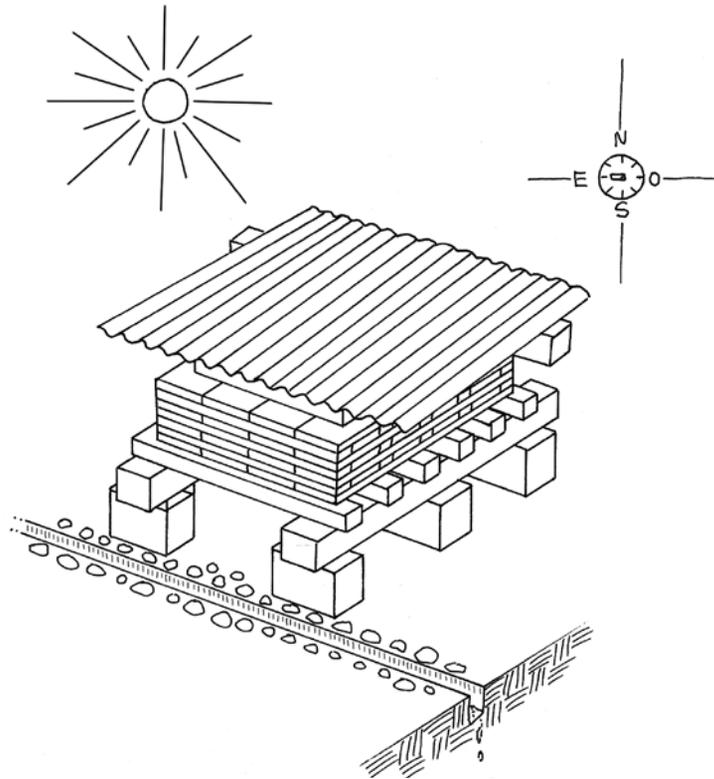
Dibujo N° 25 . Ruma de tablas de longitud variable



2. Distribución de las Pilas en el Patio de Secado.

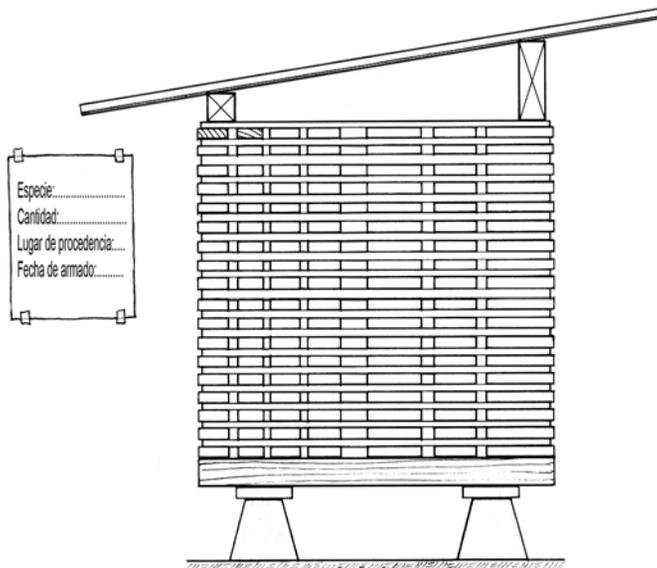
- Colocar las maderas teniendo en cuenta la trayectoria del sol. Si la luz es de Este a Oeste, el apilado debe hacerse de Norte a Sur, con lo que se logra la protección de las cabezas de las tablas, reduciendo de esta manera la presencia de grietas o rajaduras en la madera. De todas formas es recomendable aplicar una capa de pintura látex en las cabezas.
- Si el área de secado no es techada, se recomienda colocar una cubierta de calamina u otro material, para evitar que la radiación solar caiga directamente sobre las tablas superiores, minimizando así el deterioro de la madera.

Dibujo N° 26 . Orientación de las maderas



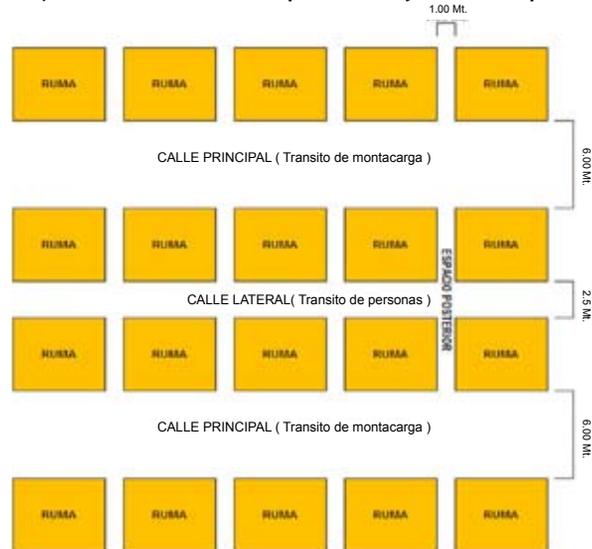
- c) Colocar en cada ruma o pila, una tarjeta (kardex) indicando: Especie, cantidad de tablas (por espesor y su respectivo pietaje), lote o lugar de procedencia y fecha de armado; a fin de mantener un control y poder emplear la madera en orden de armado.

Dibujo N° 27 . Ruma con tarjeta



d) La distribución de las rumas en el patio de secado debe considerar espacios libres para el pase de los trabajadores y montacargas, facilitando el movimiento de los trabajadores y de la madera. Además, los espacios entre las pilas facilitan el secado de la madera; cuanto más espaciadas estén las pilas mayor será la velocidad de secado. En el dibujo N° 28 se muestra la distribución de las rumas y espacios en el patio de secado.

Dibujo N° 28 . Distribución de espacios libres y rumas en el patio



e) Así mismo, se recomienda espacios de 2 a 3 metros, entre los cantos de las tablas para facilitar la circulación vertical del aire.

f) Monitorear el proceso de secado:

- Elegir una tabla, antes de iniciar el proceso, y pesarla. Registrar el peso de la tabla.
- Pesarla una vez al día. Registrar el peso diario.
- Cuando el peso sea estable, la madera habrá llegado al Contenido de Humedad de Equilibrio. Después de este punto, el contenido de humedad no bajará con un proceso de secado natural.

DURACIÓN DEL PROCESO EN EL SECADO NATURAL

En el secado natural no podemos controlar los factores ambientales de los cuales depende el proceso, por lo que, el tiempo requerido para el secado de la madera es mayor al tiempo que se requeriría de realizar el secado con un método artificial o técnico. En el secado natural se puede lograr un contenido de humedad final entre el 25% y 30%. Mientras se puede lograr un contenido de humedad final de hasta el 6%. Veamos un ejemplo:

Especie:	:	Congona
Espesor	:	1"
Contenido de humedad inicial	:	65%
Secado natural:		
Contenido de humedad final	:	25%
Tiempo total	:	4 a 6 meses
Secado artificial:		
Contenido de humedad final	:	12% (para Lima)
Tiempo total	:	14 días

El secado natural tiene ventajas y desventajas, las que podemos visualizar en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 6 . Ventajas y desventajas del secado natural

Ventajas	Desventajas
- Bajo costo de inversión con respecto a otras tecnologías.	- El contenido de humedad que alcanza la madera depende de las condiciones ambientales (humedad relativa y temperatura de la zona donde se seca la madera.
- Si el apilado y orientación de las maderas son correctos, reduce los costos y mejora la calidad del proceso posterior de secado artificial.	- No es posible controlar las condiciones de humedad del aire, factor imprescindible para el secado.
- Es recomendable para especies difíciles y/o resinosas como pre-secado hasta un contenido de humedad por debajo al 30%.	- El secado natural requiere de un tiempo mayor al del secado artificial.

SEGURIDAD Y PROTECCIÓN PERSONAL EN EL PROCESO DE SECADO

Para realizar el secado debemos tener en cuenta la seguridad y protección del personal que está encargado del proceso.

La seguridad y protección del personal comprende el conjunto de normas y procedimientos de la seguridad industrial, destinados a localizar, evaluar, controlar y prevenir las causas de los accidentes laborales.

En la seguridad industrial se consideran dos aspectos fundamentales:

- La **persona**, y;
- el **ambiente físico** donde labora.

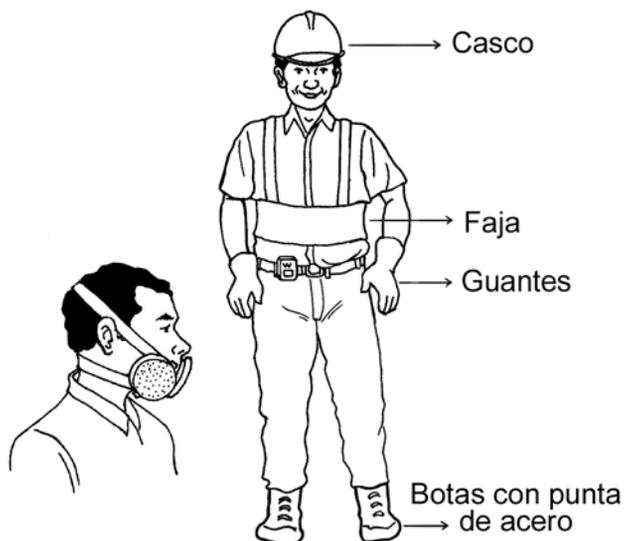
A nivel de la **persona**, se consideran los implementos de protección personal. A nivel del **ambiente físico** donde laboran las personas, se considera de seguridad en el taller.

Implementos de protección personal.

Para el proceso de secado, el encargado debe usar:

- Botas con punta de acero.
- Faja.
- Guantes.
- Casco.
- Mascarilla: En caso de que se haya usado preservante.

Dibujo N° 29
Operario usando los implementos de protección personal



Seguridad en el taller.

Para evitar accidentes en el proceso de secado es necesario que el taller cuente con mínimas condiciones de seguridad como:

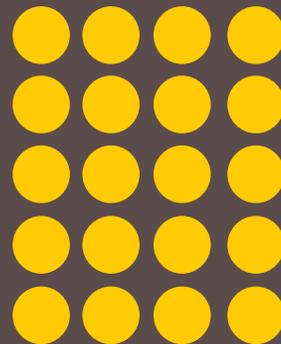
- Señalización de áreas.
- Espacios libres para el tránsito del personal.

Dibujo N° 30 . Elementos de seguridad en el patio de secado



M4

SECADO ARTIFICIAL



Un empresario que decide secar su madera a través del método artificial busca:

- Disminuir el tiempo de secado de su madera, para usarla lo más rápido posible.
- Que el contenido de humedad sea homogéneo en las distintas tablas.
- Que el contenido de humedad sea el requerido por el cliente.

Foto N° 4



VARIABLES DE CONTROL DEL SECADO ARTIFICIAL

Las variables del control varían de acuerdo al fabricante de hornos, generalmente se basan en temperatura y humedad relativa, pero todas ellas tienen equivalencias. En el cuadro N° 7 se presentan las variables que toman en cuenta algunos fabricantes de hornos.

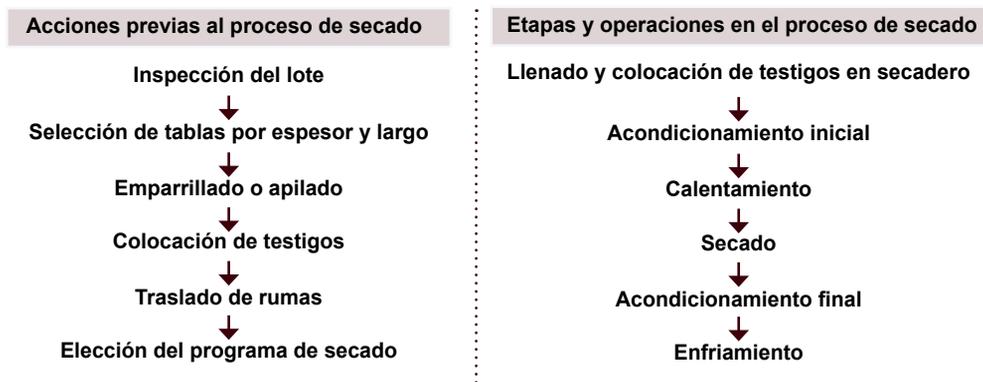
Cuadro N° 7 . Variables de control según marca de secadero

Marcas	Variables de control
Incomac	Temperatura (C°) Humedad Relativa (HR)
Copcal	Temperatura (C°) Humedad de Equilibrio(EMC) Promedio de humedad de la madera(MC) Contenido de Humedad Final de la madera (TH) Gradiente de secado(GS)
Secea	Temperatura (C°) Humedad de Equilibrio(EMC) Promedio de humedad de la madera(MC) Contenido de Humedad Final de la Madera (TH) Gradiente de secado(GS)
Denardi	Temperatura (C°) Humedad de Equilibrio(EMC) Promedio de humedad de la madera(MC) Contenido de Humedad Final de la madera (TH) Gradiente de secado(GS)
Secamak	Temperatura (C°) Humedad de Equilibrio(EMC) Promedio de humedad de la madera(MC) Contenido de Humedad Final de la Madera (TH) Gradiente de secado(GS)
Hildebrand	Temperatura (C°) Humedad de Equilibrio(EMC) Promedio de humedad de la madera(MC) Contenido de Humedad Final de la Madera (TH) Gradiente de secado(GS)

PROCESO EN EL SECADO ARTIFICIAL

En el proceso de secado artificial, se deben tomar en cuenta las operaciones previas al secado, las operaciones del mismo proceso de secado y el monitoreo y control durante el proceso de secado de la madera. En el gráfico N° 1 se señalan cada una de estas operaciones.

Gráfico N° 1 . Acciones previas, operaciones en el proceso de secado y monitoreo y control



a). Acciones previas al proceso de secado

La eficiente realización del proceso de secado asegura un efectivo secado de la madera. En esta etapa los puntos críticos son: el apilado o emparrillado y la elección de un adecuado programa de secado. El apilado porque de ello dependerá la cantidad de mermas y el óptimo secado; y, la elección del programa que deberá definirse en función de la especie, espesor y nivel de humedad inicial de la madera. A continuación se describe en forma breve cada una de las acciones previas:

1. **Inspección del lote.** Consiste en la verificación visual de la calidad de la madera. Se registran los defectos.
2. **Selección de tablas.** Se clasifican las tablas según su espesor y largo.
3. **Barrido de tablas previo al emparrillado.** Se barren las tablas para eliminar restos de polvo o resina que obstruyan o cubran los poros.
4. **Emparrillado de paquetes o rumas de madera.** En esta operación debemos tener en cuenta la selección en función al espesor a secar y el adecuado procedimiento del armado de rumas o paquetes. Aquí se presentan algunos cuidados y recomendaciones:

- **Los separadores:**

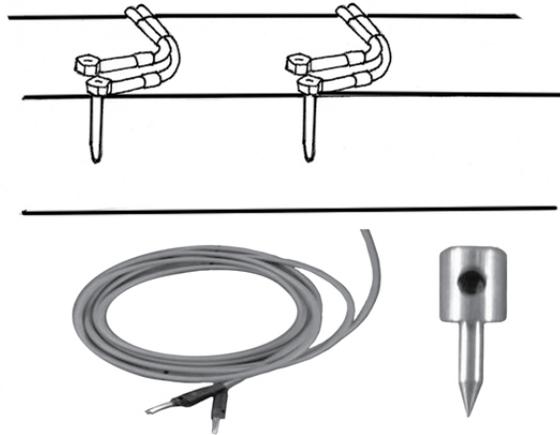
- Preferentemente, deben ser de maderas no resinosas y duraderas como el Tornillo.
- Deben ser elaborados, con madera seca (10% de Contenido de Humedad) y de buena calidad, libre de defectos y sin deformaciones.
- Deben tener un espesor uniforme, entre 12 mm (1/2”) y 25 mm (1”).
- Corte a escuadra y perfectamente cepillados.
- Pueden ser rectos y/o moldurados.
- Deben ser cambiados apenas presenten deformaciones.

- **Armado de Rumas:**

- Si se cuenta con un montacarga para llenar el horno, se recomienda armar las rumas antes del llenado para facilitar la manipulación de las tablas; además en este proceso las tablas se van oreando, como si fuera un pre-secado, hasta tener lista la carga.
 - La preparación de las rumas deberá seguir el procedimiento descrito anteriormente en el módulo 3. Cada paquete de madera, debe organizarse por espesor y largo, a fin de que los largos sean múltiplos del ancho máximo permitido por la cámara.
 - Los paquetes deben estar claramente identificados para su acomodo en el momento del llenado del horno.
5. **Colocación de testigos.** Adicionalmente, durante la etapa de armado de las rumas se debe ubicar los clavos y sensores que serán luego conectados como testigos al controlador del horno. Estos deben ubicarse en la mitad del paquete, tanto horizontal como vertical, colocando los clavos para los testigos, en el centro horizontal y vertical de la tabla seleccionada y por la cara inferior de la misma.

Un testigo es una tabla a la cual se le ha colocado una sonda para poder controlar el proceso de secado y el nivel de contenido de humedad, desde el inicio del ciclo y durante todo el proceso hasta llegar al contenido de humedad requerido. Se elige como testigo una madera difícil de secar.

Dibujo N° 31 . Colocación de Clavos para testigos



6. **Traslado de rumas.** Consiste en trasladar las rumas armadas a la cámara de secado, cuidando de que no se muevan los separados para asegurar su debido alineamiento.

7. **Elección del programa.** Para elegir el programa de secado se toma en cuenta la especie, el espesor y el contenido de humedad inicial de la madera.

Generalmente los fabricantes de hornos emplean, como referencia en sus programas, maderas europeas y africanas, en algunos casos aparecen el Cedro y la Caoba.

Para aquellas especies nacionales que no aparecen en los programas preestablecidos, se recomienda comparar información de densidad de las maderas europeas o africanas con aquellas nacionales que se deseen secar. Los programas de secado pueden ser:

- **Fuerte o acelerado:** Secado rápido a temperaturas altas, de 50°C a 70°C. Se usa para maderas con poca tendencia a defectos, sin inclusiones y espesores menores (de ¾” a 1”). Ejemplo: Caoba, Cedro.
- **Suave o lento:** Secado lento a temperaturas bajas (40°C a 60°C). Se usa para maderas de difícil secado, con tendencia a defectos y con inclusiones. Ejemplo: Moena Rosada de 1 ¼” de espesor.
- **Moderado:** Programa intermedio entre los dos anteriores, a una temperatura de 45°C a 65 °C. Ejemplo: Moena Rosada de 1” de espesor o Caoba de 2”.

Ejemplo:

Programa para Moena Rosada de 1”

MC	EMC	T°	HR	GS
Verde	18	45	88	
35	13	50	75	
30	11.5	50	70	2.6
25	9.5	60	65	2.6
20	7.5	60	50	2.7
15	5.5	65	37	2.7

La duración de este ciclo de secado dura un aproximado de 18 a 20 días.

MC (Contenido de humedad de la madera)

EMC (Contenido de humedad de equilibrio)

T° (Temperatura)

HR (Humedad relativa)

GS (Gradiente de secado)

b). Operaciones en el proceso de secado

El proceso de secado se realiza aplicando el programa elegido. Se considera el inicio de operaciones en el proceso de secado, al llenado del horno y el enfriamiento como la última operación del proceso de secado. Paralelamente al proceso de secado se debe realizar el monitoreo y control del cumplimiento del programa de secado realizado.

1. Llenado del horno.

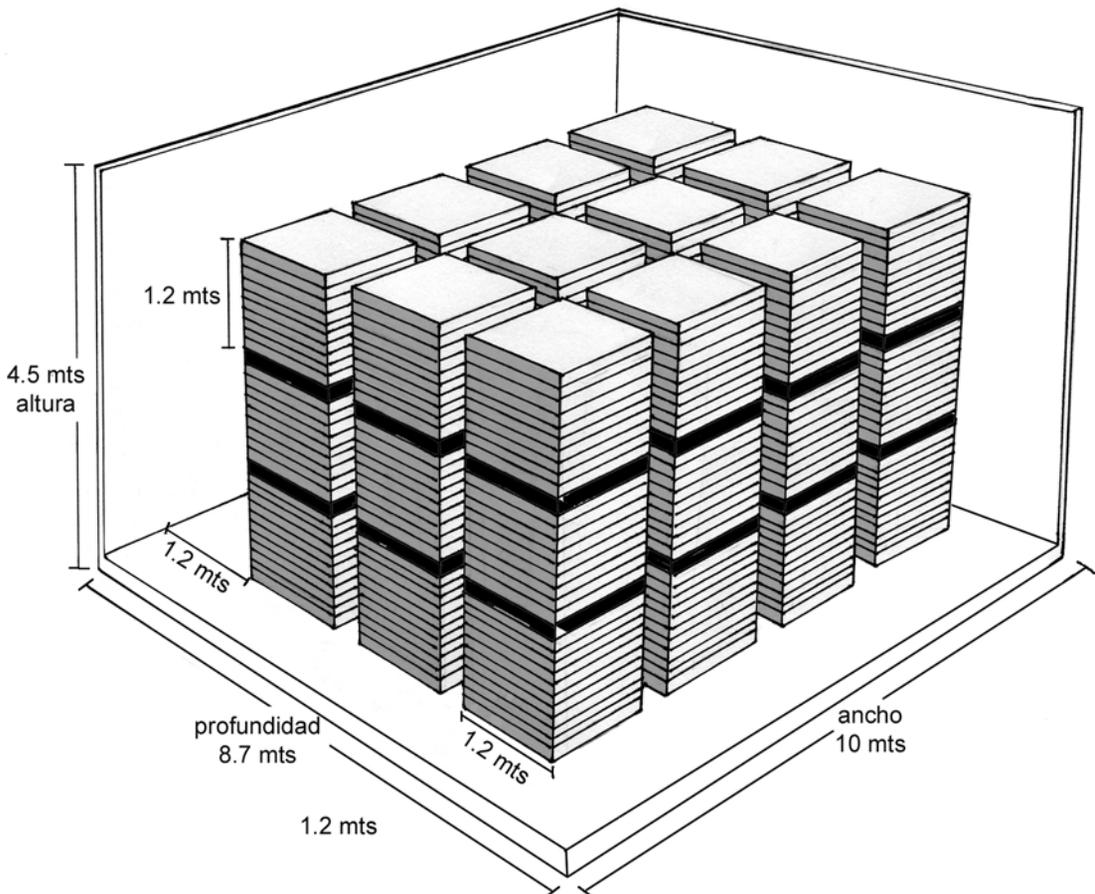
- El volumen de la carga depende de la capacidad del horno y del espesor de la madera a cargar. La capacidad del horno determina el largo máximo de las tablas o rumas a apilar.
- Se debe respetar las indicaciones de llenado del horno establecidas por el fabricante, considerando el ancho, profundidad y altura de cámara, ya que estas medidas garantizan la correcta circulación del aire y por ende, un efectivo secado.

Ejemplo:

En una cámara de 20,000 Pt., cabrán 27 paquetes o rumas dispuestos en:

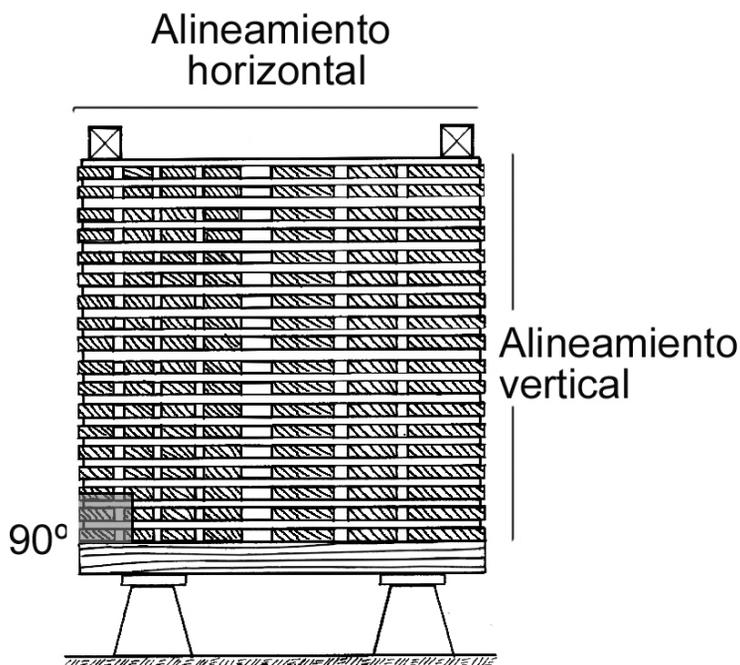
- 3 paquetes de profundidad
- 4 paquetes de ancho y
- 3 paquetes de alto.

Dibujo N° 32 . Dimension de una cámara de secado de 20,000 Pt.



- Los paquetes con los sensores de humedad se ubicarán en las filas 1, 2 y 3 (horizontal) y en las columnas del 1 al 9; tratando de tomar, a manera de muestra, todos los puntos de la cámara. A más sensores de control en una cámara se reduce la variabilidad del secado.
- Los paquetes o rumas de madera en el horno, deben mantener la alineación vertical y horizontalmente, para evitar deformaciones por cargas muertas, manteniendo un ángulo de 90°. Cada paquete debe de separarse uno de otro por medio de tucos.

Dibujo N° 33 . Alineación horizontal y vertical de las rumas



- Las dimensiones de los paquetes estarán en función de:
 - ◊ El ancho: en función de la profundidad de la cámara.
 - ◊ El alto: en función a la altura máxima permitida y la carrera del montacarga.
 - ◊ El largo: en función al largo de las maderas en múltiplo al ancho de la cámara.
- En el caso de secar diferentes espesores de madera, deben mantenerse los mismos niveles por filas en la carga, a fin de que aire tenga un flujo continuo, manteniendo los espesores más gruesos en las primeras filas.
- En maderas susceptibles al alabeo (Congona, Requía, Lagarto Caspi), se debe colocar contrapesos encima de la última fila de la pila, para estabilizar la carga.
- En el caso de armar las rumas dentro de la cámara de secado, se sigue los mismos procedimientos en el armado de rumas o emparrillado de madera. Se realiza en forma continua, y, en función al largo y múltiplo del ancho de la cámara. Donde todos los separadores deben de mantener la verticalidad y horizontalidad de las mismas. Durante el armado se debe colocar en forma indistinta los sensores de humedad con suficiente cuidado previendo que las maderas no presionen los cables.

2. **Acondicionamiento inicial.** Considerando que no todas las tablas tienen el mismo contenido de humedad, se humedece la cámara de secado a fin de tratar de homogenizar el contenido de humedad de las tablas. Esta fase dura horas.

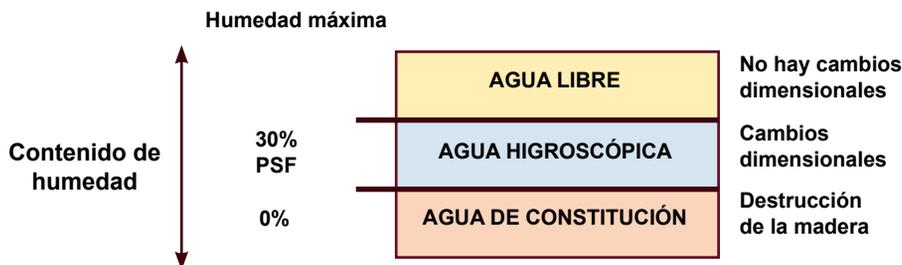
3. **Calentamiento.** Se eleva la temperatura de la cámara al mismo tiempo que se calienta toda la masa de la madera con el fin de dilatar los poros de las capas superficiales, a manera de sauna, para luego facilitar el secado de las capas interiores de la madera. Esta etapa dura horas.

4. **Secado.** Es la etapa de secado propiamente dicha. Consiste en la eliminación de agua desde la superficie de la pieza y la subida de la humedad desde el interior hacia la superficie. Esta etapa tiene dos sub-fases en las cuales se establecen diferentes procesos de gradientes, temperaturas y humedad relativa, generalmente enlazadas:

- a) Sub Fase 1. Eliminación del agua libre de la madera; se caracteriza por una elevada salida de vapor de agua de las cámaras (pudiendo salir agua por debajo de las puertas a manera de charco). Esta etapa dura días y se observa, en los controles, una rápida pérdida del contenido de humedad en la madera.
- b) Sub Fase 2. Eliminación del agua higroscópica de la madera (por debajo del 30%); en esta etapa se producen las contracciones y los defectos en la madera por un mal secado, por lo que es necesario mantener un doble control en el secado. A medida que va disminuyendo la humedad en la madera es necesario incrementar la temperatura y la gradiente, y, disminuir la humedad relativa. Esta fase dura días.

A continuación se representa en un dibujo la relación entre el contenido de humedad y los cambios de dimensión en la madera.

Gráfico N° 2 . Cambios dimensionales según contenidos de humedad de la madera.



Punto de Saturación de las Fibras (PSF):

Es el punto en el que el agua higroscópica ocupa totalmente las paredes celulares y el agua libre de los lúmenes se ha evaporado. Su valor varía entre 21% hasta 32%, pero se considera el 30% de PSF como el límite para la presencia de cambios dimensionales en la madera. A partir de este punto, la madera comienza a contraer sus dimensiones volumétricas (espesor, ancho y largo).

5. **Acondicionamiento final.** Al alcanzar el contenido de humedad deseado o programado, aún las piezas conservan diferencias de humedad entre sí, por lo que se recomienda un acondicionamiento final de las mismas. En esta fase se busca homogenizar el contenido de humedad de las piezas y disminuir el nivel de tensiones y el estrés que se ha producido en la etapa anterior; se realiza a través de un vaporizado o inyección de humedad en la cámara. Esta etapa dura horas.

6. **Enfriamiento.** Debido a que la madera se encuentra aún caliente en el interior y que un cambio brusco de temperatura al abrirse las puertas, pueden ocasionar defectos en la madera; se aconseja dejar reposar la madera dentro del horno apagado por un tiempo mínimo de 12 horas con la puerta entre abierta. Generalmente, si el horno terminó su ciclo en horas de la tarde, se descarga recién al día siguiente por la mañana. Aún en su descarga se podrá escuchar a la madera crujir.

NOTA: Se recomienda que, luego de estos procesos, se deje reposar las maderas en el exterior, por lo menos 24 horas antes de iniciar el proceso de producción en el taller.

Para que el secado artificial logre el objetivo propuesto debe cumplir ciertas condiciones que deben ser controladas por monitoreo y control del proceso de secado.

c). Monitoreo y control del proceso de secado

Para garantizar la eficiencia del proceso de secado, es necesario monitorearlo, es decir, levantar información sobre los resultados ante, durante y después del proceso de secado y supervisar el cumplimiento del programa. El monitoreo establece 3 fases:

Fase de pre-secado. Comprende el control y revisión de la cámara y de sus accesorios, principalmente de las boquillas de aspersión, las cuales se deben limpiar antes de iniciar un ciclo de secado, así como la revisión de los cables de los sensores, a fin de verificar su buen estado. Un cable pelado puede distorcionar la información del contenido de humedad de la madera.

Fase de secado. El monitoreo, en esta fase, incluye:

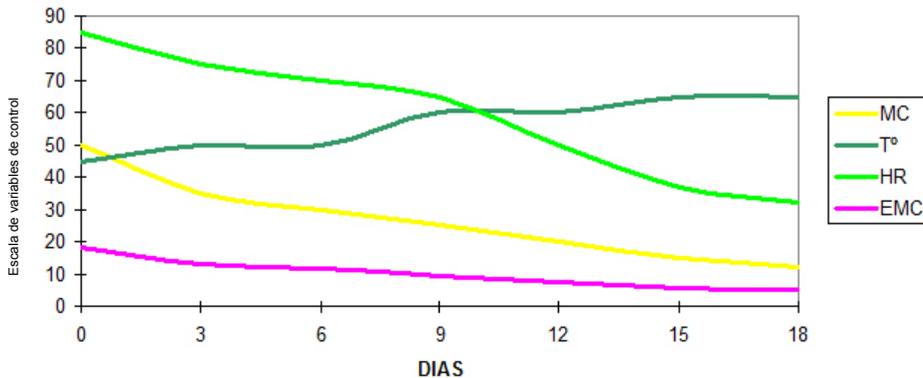
- Control de las variables: Temperatura, humedad relativa, gradiente de secado, otras.
- Verificación de la inyección de agua por los aspersores.
- Verificación del funcionamiento de los ventiladores.
- Control de la variación del contenido de humedad en la madera (testigos) u otros parámetros que defina el fabricante del horno, esto puede hacerse de forma manual a través del tablero de mando y/o automático por computadora.

Como parte del monitoreo, durante la fase de secado, se puede ingresar a la cámara (por la puerta de inspección) para hacer una inspección visual de la madera de identificar defectos y controlar que la aspersión de agua sea la adecuada; así como realizar, una inspección táctil del paso del aire entre las pilas.

El monitoreo durante el proceso de secado permite definir acciones correctivas para el logro de los resultados propuestos.

En el gráfico N° 3, se aprecia el registro de la curva de secado para la madera Moena Rosada, de 1", que vimos en el ejemplo de programa de secado.

Gráfico N° 3 . Curva de secado - Moena Rosada



MC (Contenido de humedad de la madera)
EMC (Contenido de humedad de equilibrio)
T° (Temperatura)
HR (Humedad relativa)
GS (Gradiente de secado)

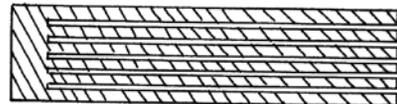
Fase de post-secado. Esta referida a verificar el contenido de humedad de las tablas a través de un chequeo aleatorio con un higrómetro de clavos y constatar la calidad del secado a través de pruebas de estabilidad en la madera (prueba de tenedor).

Culminado el proceso de secado en horno, es necesario verificar los resultados finales del proceso para comprobar que la madera está libre de tensiones y puede ser maquinada.

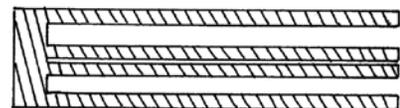
Una forma de verificar la calidad del secado es realizando la prueba del tenedor. A continuación se describe en forma breve el procedimiento de la prueba de tenedor.

Prueba del tenedor. La prueba del tenedor se usa para verificar la calidad del secado. Se realiza sobre una muestra de madera seca tomada de la sección central de una tabla y consiste en ranurar una sección de una madera seca para comprobar cuál es el comportamiento de la madera.

Se realiza el corte de un tabla de madera secada, centro medio y largo de la tabla. La pieza debe tener, como mínimo, un ancho de 2.5 cm. En ella se realizan 5 cortes longitudinales con ayuda de una sierra cinta para formar 6 dientes, como se muestra en el dibujo.

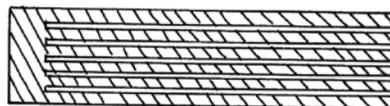


Se eliminan las porciones 2 y 5, generando espacios que permitan la verificación de la presencia o no, de tensiones en la madera.

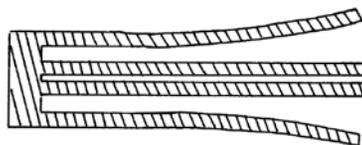


Se grafican los probables resultados de la prueba:

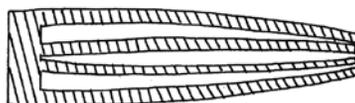
1. Muestra de tenedor libre de tensiones: Secado correcto.



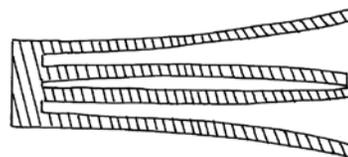
2. Muestra de tenedor con arqueamiento externo: Secado parcial en las partes exteriores.



3. Muestra de tenedor mostrando tensiones fuertes al final del secado.



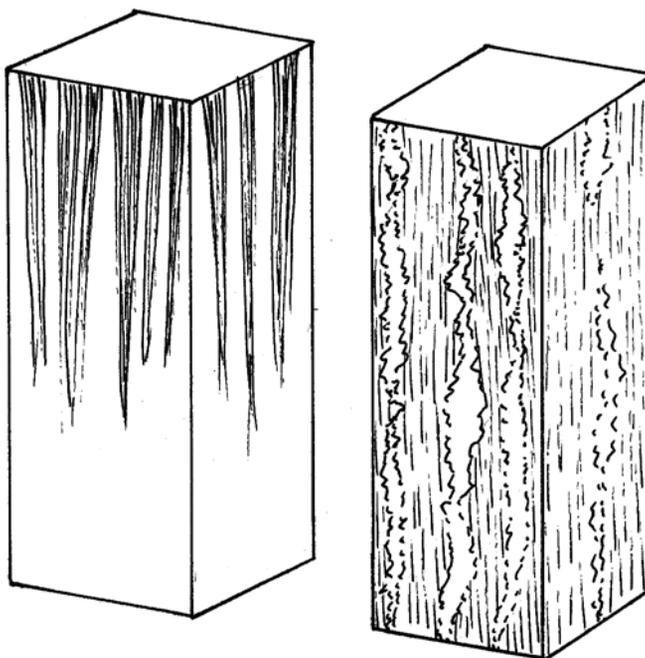
4. Deformación de una tabla por acondicionamiento incorrecto.



Un mal programa de secado ocasiona defectos en la madera.

DEFECTOS EN EL SECADO ARTIFICIAL

- **Defectos de forma.** Causados por un mal apilado: Carga mal alineada, separadores desiguales o mal distanciados. Ejemplo: Alabeos, arqueaduras, torceduras.
- **Defectos de estructura.** Causados por cambios drásticos en la humedad de la madera (falsa lectura de la humedad relativa ó del contenido de humedad de la madera, programa de secado muy fuerte, mal funcionamiento de los inyectores, etc.). Ejemplo: Colapso.
- **Presencia de hongos.** Causado, principalmente, por un mal funcionamiento de los ventiladores y/o sistema de evacuación o intercambio de aire en el horno y/o mal control de la humedad relativa de la cámara, lo que origina condiciones óptimas para el desarrollo de los hongos.
- **Presencia de manchas.** En maderas blancas. Causada por el contacto con separadores que no cuentan con las características adecuadas.



A continuación se presentan algunos cuidados y recomendaciones para reducir defectos de forma y estructura de la madera, así como para el adecuado almacenamiento de la madera seca.

1. Reducción de defectos en el secado artificial

Para reducir defectos de forma se recomienda:

- Apilar correctamente la madera, manteniendo una adecuada alineación horizontal y vertical.
- Utilizar separadores de la misma especie u otras que no exhuden resinas o taninos. Los espesores de los separadores deben ser uniformes, teniendo en cuenta las características señaladas en el cuadro N° 4 del módulo 3.
- Los separadores deben estar correctamente alineados y espaciados.
- Colocar peso sobre la carga, en el último paquete que está cerca al techo del horno.
- Verificar el perfecto funcionamiento de la cámara y de los instrumentos de control.

Para reducir defectos en la estructura de la madera se recomiendan:

- Elegir el programa de secado apropiado a la carga que se secará.
- Algunas veces, los defectos de estructura se pueden corregir a través de procesos previos al secado como el vaporizado o lixiviación (lavado con agua) de la madera.

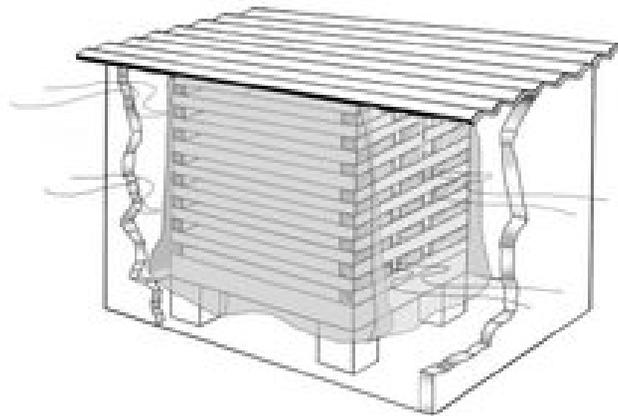
Después de secar la madera debemos almacenarlas correctamente para que no gane humedad; para ello debemos tomar en cuenta las siguientes recomendaciones.

2. Almacenamiento de la madera seca

Una vez obtenida la madera seca, se debe controlar el ambiente y condiciones de su almacenamiento antes de trabajarla. Para ello se recomienda:

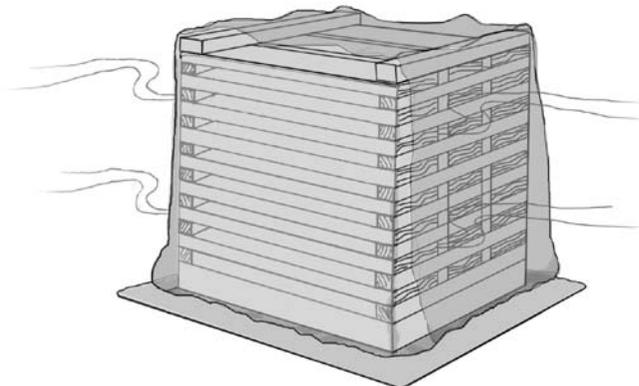
- Almacenar la madera en lugares donde el contenido de humedad sea igual al de la madera seca.
- Almacenar la madera bajo techo, en un lugar cerrado y bien ventilado.
- Colocar separadores entre las tablas para facilitar el paso del aire y evitar la acumulación de humedad.
- Almacenar la madera en forma horizontal.
- Envolver o cubrir la madera seca con plástico.
- Si la madera permanecerá almacenada por mucho tiempo, se debe controlar periódicamente el nivel de contenido de humedad, para minimizar los efectos de hinchamiento o contracción.
- Se puede mejorar el almacenamiento en interiores usando un ventilador pequeño para asegurar la uniformidad de la humedad en toda el área.
- Verificar, periódicamente, que la madera no se ha infestado de insectos.
- No almacenar productos sobre la madera.

Dibujo N° 35 . Almacenamiento de madera seca bajo techo



- Si la dejamos al aire, colocar la madera sobre polietileno para aislarla del suelo y cubrirla con plástico oscuro, cuidando que exista una adecuada ventilación.

Dibujo N° 36 . Almacenamiento de madera seca al aire libre



El secado artificial tiene ventajas y desventajas, las que podemos visualizar en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 8. Ventajas y desventajas del secado artificial

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Se logra el contenido de humedad solicitado por el cliente. - Mejora la performance de la madera para los procesos de habilitado, maquinado, ensamble y acabado de las piezas y productos. - Rotación más rápida en el proceso del secado que el secado al aire. 	<ul style="list-style-type: none"> - La cantidad de madera a secar depende de la capacidad del horno y, generalmente, las MYPE no cuentan lotes con dicha cantidad.

Aprovechar las ventajas del secado artificial y disminuir el riesgo de la presencia de defectos como producto de un mal programa de secado requiere de elegir adecuadamente la empresa a la que se contratará para que preste el servicio, en el caso que no se cuente con un horno de secado.

CRITERIOS PARA SELECCIONAR UN SERVICIO DE SECADO ARTIFICIAL O TÉCNICO

Para elegir un servicio de secado artificial, el empresario debe tener en cuenta los siguientes criterios:

1. **Garantía del servicio:** Al final del proceso de secado, la madera debe tener el contenido de humedad deseado y no estar tensionada, para lo cual se recomienda un chequeo con un higrómetro de clavos y realizar la “Prueba del tenedor”.
2. **Experiencia en secado de madera:** Verificar que la empresa tenga experiencia en el secado de la especie de madera para la cual se solicita el servicio.
3. **Capacidad y disponibilidad de hornos:** Saber que el proveedor de servicio cuenta con la capacidad requerida y la disponibilidad para atender su pedido, a fin no tener retrasos o demoras que luego tenga que cargarlas al cliente.
4. **Opinión de otros clientes:** Siempre es importante conocer el nivel de satisfacción de los empresarios que han solicitado el servicio con anterioridad.

SEGURIDAD Y PROTECCIÓN PERSONAL EN EL SECADO ARTIFICIAL

Para evitar accidentes y riesgo de enfermedades ocupacionales, es necesario seguir las siguientes recomendaciones de protección personal y seguridad en el taller.

Implementos de protección personal

Al igual que en el caso del secado natural, el personal encargado de este proceso debe usar:

- Botas con punta de acero.
- Faja.
- Casco.
- Guantes.
- Mascarilla: en caso de que se haya usado preservante.

Seguridad en el taller

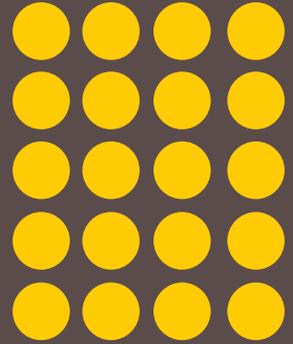
Para el secado artificial, la seguridad en el taller comprende:

- Instalaciones eléctricas adecuadas.
- Pozo a tierra.
- Tomas de agua.
- Extintores.
- Señalización de áreas.



M5

COSTO Y BENEFICIO DEL USO DE MADERA SECA



Evaluar la conveniencia de trabajar con madera seca requiere de un análisis del costo del secado de la madera y el beneficio que se obtiene con el uso de la madera seca, es decir, analizar la relación del costo y beneficio del uso de madera seca. Para realizar este análisis, se debe tomar en cuenta factores cuantitativos y cualitativos.

FACTORES CUANTITATIVOS

Trabajar con madera húmeda ocasiona cambios dimensionales de las piezas por pérdida de humedad en el proceso. Estos **cambios dimensionales** significan reprocesar o reemplazar las piezas que no presentan el estándar de calidad requerido para poner el producto en el mercado y competir con empresas del mismo rubro.

Reprocesar una pieza o un producto significa un mayor tiempo en la elaboración del producto y un **mayor costo en materia prima, insumos, materiales y mano de obra**; además, la capacidad de la planta o taller se ve disminuida al generar reprocesos innecesarios.

Rechazar una pieza significa perder el dinero invertido y asumir nuevos costos porque debemos reemplazar la pieza, además, duplicamos el tiempo de producción porque debemos procesar nuevamente una o más piezas.

En el cuadro N° 9 se presentan algunos de los problemas ocasionados en el proceso productivo por el uso de madera húmeda.

Cuadro N° 9 . Problemas por el uso de madera húmeda

Proceso	Problemas por uso de madera húmeda
Habilitado.	Mayor tiempo de proceso debido a que el aserrín se pega en el disco, teniéndose que parar con más frecuencia el trabajo de corte para limpiar los discos.
Pegas.	Las pegas se abren generando mayor consumo de horas y material al momento de reprocesar.
Ensamble.	Al momento de ensamblar se produce reducción de algunas piezas de madera, teniéndose que ajustar o regular a la medida deseada.
Lijado.	La madera húmeda consume más lijas, debido a que la madera se pega a la lija por estar húmeda. Además al momento de procesar genera hebras levantadas teniéndose que quitarlas a través del proceso de lijado.
Acabados.	La madera, al estar húmeda, genera cambios volumétricos, los cuales afectarán la estructura del mueble y, por ende, el acabado.

Los cuadros que se presentan a continuación describen en forma cuantitativa el incremento de la mano de obra, insumos y materiales en el caso de la fabricación de una silla de madera Moena Rosada, con un contenido de humedad mayor a 15%.

Cuadro N° 10

Incremento de uso de mano de obra, insumos y materiales en porcentajes en la fabricación de una silla Moena Rosada

Proceso	Problemas por uso de madera seca	Porcentaje de incremento por reproceso	
		Mano de obra	Insumos y materiales
Habilitado.	Mayor tiempo de proceso debido a que el aserrín se pega al disco, teniéndose que parar el trabajo con más frecuencia para limpiar los discos.	5%	0%
Pegas.	Las pegas se abren generando mayor consumo de horas y material al momento de reprocesar.	12%	15%
Ensamble.	Al momento de ensamblar se produce reducción de algunas piezas de madera, teniéndose que ajustar o regular a la medida deseada.	10%	0%
Lijado.	La madera húmeda consume más lijas, debido a que la madera se pega a la lija por estar húmeda. Además al momento de procesar genera hebras levantadas que deben eliminarse con lijado.	30%	30%
Acabados.	La madera, al estar húmeda, genera cambios volumétricos, los cuales afectarán la estructura del mueble y, por ende, el acabado.	20%	20%

Siguiendo con el ejemplo, a continuación se describe en forma detallada los incrementos valorados en nuevos soles de los costos de mano de obra, insumos y materiales por reprocesos en la producción de la silla.

1. Incremento del costo de mano de obra por reproceso.

En el cuadro N° 10, podemos apreciar el incremento del costo de mano de obra para reprocesar las piezas con defectos.

Cuadro N° 11 . Incremento del costo de mano de obra

Proceso	Unidad de medida	Cantidad (horas)	Costo Unitario S/.	Costo uso madera seca S/.	sobrecosto madera húmeda S/.	Costo reproceso S/.
Habilitado	HH	1.13	4.33	4.88	0.24	5.12
Pegas	HH	1.13	4.33	4.91	0.59	5.50
Maquinado	HH	0.81	4.33	3.52	-	3.52
Ensamble	HH	1.64	4.33	7.09	0.71	7.80
Lijado	HH	1.34	4.33	5.81	1.74	7.55
Acabado	HH	2.15	4.33	9.32	1.86	11.18
Embalaje	HH	0.63	4.33	2.72	-	2.72
TOTAL				38.25	5.15	43.40

HH= Horas Hombre

Interpretando los datos del cuadro y considerando el costo unitario por hora hombre a S/. 4.33 y para los procesos señalados, tenemos que:

- Usando madera seca el costo de horas hombre, por producto, es de S/. 38.25.
- El sobrecosto por uso de madera húmeda equivale a S/. 5.15 soles; es decir, que el costo, por producto, considerando que debe ser reprocesado sería de S/. 43.40.

Ejemplo:

- Si el costo total de un producto elaborado con madera seca es, por ejemplo, S/. 120.00
- El incremento por usar madera húmeda sería de S/. 5.15.
- Por tanto, el costo total de cada producto sería de S/. 125.15.

Si fabricamos un lote de 50 productos, el cálculo sería:

Usando madera seca.

- Costo total del lote = S/. 120.00 x 50 = S/. 6 000.00

Usando madera húmeda:

- Costo total del lote = S/. 125.15 x 50 = S/. 6 257.50

Es decir, el costo total se incrementaría en S/. 257.50 nuevos soles.

2. Incremento del costo de insumos y materiales por reproceso.

En el cuadro N° 12 se presenta un ejemplo del incremento del costo de insumos y materiales, para los mismos problemas identificados en el cuadro N° 9, por efecto del reproceso de las piezas.

Cuadro N° 12 .Incremento del costo de insumos y materiales por reproceso.

Insumos	Costo uso madera seca S/.	sobrecosto madera humeda S/.	Costo reproceso S/.
Pegamento	7.80	1.17	8.97
Clavos	1.20	-	1.20
Lijas	4.62	1.39	6.01
Materiales de acabado	14.88	2.98	17.86
Embalaje	4.50	-	4.50
	33.00	5.53	38.53

Interpretando los datos del cuadro, tenemos que:

- Usando madera seca, el costo de los insumos por producto, es de S/. 33.00.
- El sobrecosto por uso de madera húmeda equivale a S/. 5.53 soles; es decir, que el costo por producto, considerando que debe ser reprocesado sería de S/. 38.53.

Esto significa que:

- Si el costo total de un producto elaborado con madera seca es, por ejemplo, S/120.00
- El costo total de cada producto reprocesado sería de S/. 125.53.

Si fabricamos un lote de 50 productos, el cálculo sería:

Usando madera seca.

- Costo total del lote = S/. 120.00 x 50 = S/. 6 000.00

Usando madera húmeda:

- Costo total del lote = S/. 125.53 x 50 = S/. 6 276.50

Es decir, el costo total se incrementaría en S/. 276.50 nuevos soles.

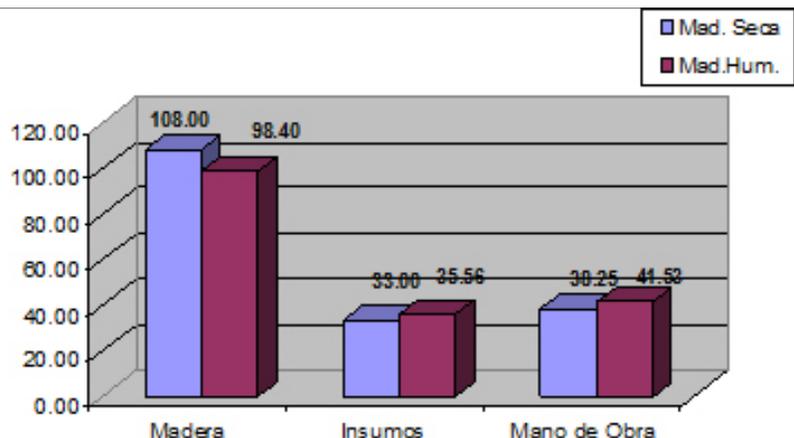
3. Costo de la madera.

En el caso de la materia prima, la madera húmeda es más barata que la madera seca, así tenemos que:

- Si el costo de la madera húmeda para fabricar un producto es de S/.98.40 y el costo de la madera seca para el mismo producto es de S/. 108.00.
- Por tanto, usando madera húmeda el costo es S/. 9.60 menos.
- Si se fabrica un lote de 50 productos, el costo total de madera sería de S/. 480.00 menos que usando madera seca.

En el gráfico N° 4 se presenta un cuadro comparativo del costo unitario de la madera, mano de obra e insumos, por el uso de madera seca y madera húmeda.

Gráfico N° 4 . Cuadro comparativo del costo unitario por uso de madera seca y madera húmeda



Como se observa en el cuadro, con el uso de la madera seca disminuyen los costos de mano de obra e insumos, pero aumenta el costo de la materia prima.

En el cuadro N° 13, se presenta el costo unitario y el costo total de la producción del lote de 50 sillas, usando madera seca y madera húmeda.

Cuadro N° 13 . Cuadro comparativo de costos unitario por uso de madera seca y madera húmeda

Rubro	Producto Unitario de una silla			Producto Unitario de una silla		
	Con madera seca S/.	Con madera húmeda S/.	Diferencia S/.	Con madera seca S/.	Con madera húmeda S/.	Diferencia S/.
Mano de obra	38.25	43.4	5.15	1,912.50	2,170.00	257.50
Insumos y materiales	33	38.53	5.53	1,650.00	1,926.50	276.50
Madera	108	98.4	-9.6	5,400.00	4,920.00	-480.00
	179.25	180.33	1.08	8,962.50	9,016.50	54.00

Como se observa en el cuadro, el costo unitario y el costo total es menos usando madera seca que con madera húmeda.

Por lo tanto, siempre se recomienda el uso de madera seca para optimizar los costos de producción.

4. Costo por reemplazo de pieza:

Si el defecto no se puede reprocesar y la pieza se tiene que desechar, eso significa una pérdida para la empresa, ya que debe reponer la pieza.

En conclusión:

Por cada pie de madera que tengamos que comprar para reemplazar piezas desechadas, el costo de los productos se irá incrementando.

FACTORES CUALITATIVOS

El mayor costo que el empresario debe enfrentar por la pérdida de calidad del producto debido al uso de una madera inadecuadamente seca, es la pérdida de la buena imagen de la empresa. Al entregar productos de mala calidad que, en poco tiempo, va a mostrar defectos, por ejemplo, como el despegue de las piezas, la empresa:

- Pierde clientes, tanto porque los clientes no regresan al no ver cubiertas sus expectativas de calidad, como porque estos clientes hablan mal de la empresa, lo que lleva a la pérdida de clientes potenciales.
- Deja de atender nuevos pedidos porque los trabajadores, máquinas, equipos y herramientas están siendo ocupados por labores de reproceso de piezas o productos.
- Pierde clientes porque no puede entregar los productos en el plazo acordado, ya que el tiempo de producción, por reproceso o por elaboración de nuevas piezas o productos, se ha incrementado.
- Al perder clientes pierde ingresos por ventas y su posicionamiento en el mercado.

La imagen de la empresa, es decir, la opinión que tienen los clientes sobre la calidad de sus productos, es la inversión más importante de una empresa, ya que le permite consolidarse en el mercado y crecer.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera y corcho – AITIM - Manual de secado de madera. Canadá, 1998.
- Chavesta Custodio, Manuel. Identificación de maderas. La Molina, Perú, 2006.
- Fernández C., Alejandro. Importancia del secado en la madera. 2009.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas. 1ra. Edición. Perú, 1989.
- Rubén Ananías. Departamento Ingeniería en Maderas. Universidad Del Biobio. Chile: Física de la madera. Chile. 2007.



El Centro de Innovación Tecnológica de la Madera (CITEmadera) es una entidad del Ministerio de la Producción que promueve el desarrollo de las empresas de transformación de la madera con el propósito de contribuir al incremento de su competitividad en el mercado gracias al respaldo del conocimiento y la innovación tecnológica.

CITEmadera, apoya la gestión forestal ambientalmente responsable, socialmente beneficiosa y económicamente viable de los bosques promoviendo la certificación forestal y la cadena de custodia para asegurar una industria maderera sostenible.

Actualmente, el CITEmadera opera a través de la Unidad de Transferencia Tecnológica de Villa El Salvador-Lima y la Unidad de Transferencia Tecnológica en Pucallpa- Ucayali. Estas UTT están diseñadas y equipadas para atender los requerimientos de las empresas del sector maderero en el nivel nacional.

El CITEmadera forma parte de la Red de Centros de Innovación Tecnológica apoyada por el Ministerio de la Producción.

Sede Principal

UTT CITEmadera Lima

Calle Solidaridad cuadra 3. Parcela II, Mz. F, Lt 11-A
Parque Industrial de Villa El Salvador. Lima 42
Tel (51.1) 287 5059 (51.1) 288 0931
Fax (51.1) 288 0931
E-mail citemadera@produce.gob.pe
www.citemadera.gob.pe

Oficina Técnica

UTT CITEmadera Pucallpa

Carretera Federico Basadre Km 4.200 - Ex Cenfor Pucallpa
Telefax (051) 61 579 085
E-mail citemad_pucallpa@produce.gob.pe



PERÚ

Ministerio
de la Producción

