



Charla: SECADO DE LA MADERA



Unidad de
Vinculación
Forestal

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Forestal

Tel. (+506) 2550 2489
e-mail. unidadvf@tec.ac.cr



Ing. F. Muñoz

30 julio 2021 / Plataforma Virtual TEAMS

Organización de la charla



Bloque 1: Concepto general madera y secado

Bloque 2: Importancia del secado

Bloque 3: Determinación del CH

Bloque 4: Métodos de secado

Bloque 5: Defectos de secado y prevención

Bloque 6: Madera seca a nivel nacional

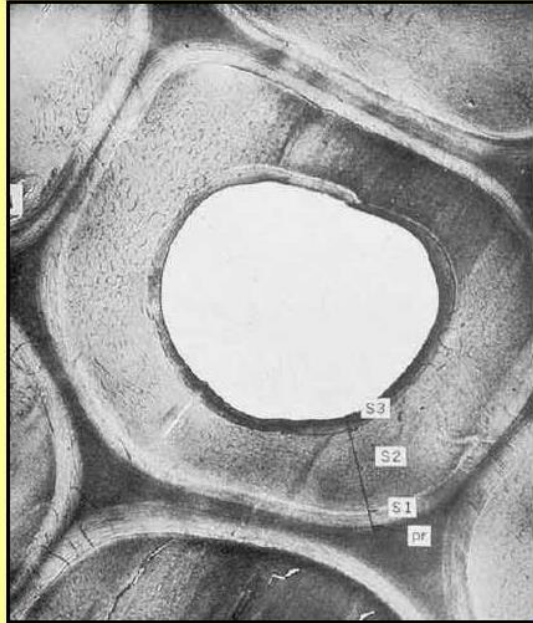
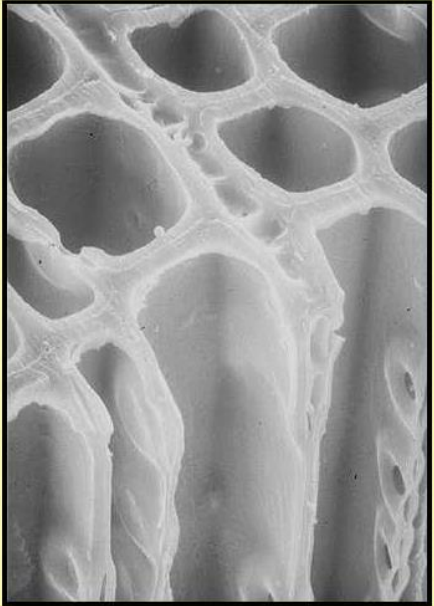
Bloque 7: Video secado de la madera

Bloque 1:

Concepto general madera y secado



El xilema (madera) es el principal tejido (fibras) que constituye el fuste y ramas de los árboles. La madera es por tanto, un material fibroso, poroso y heterogéneo. Las células de la madera son estructuras tubulares con una pared celular y un espacio vacío en su interior denominado lumen celular.



En general la madera procede de dos tipos de árboles

Coníferas:



Latifoliadas:

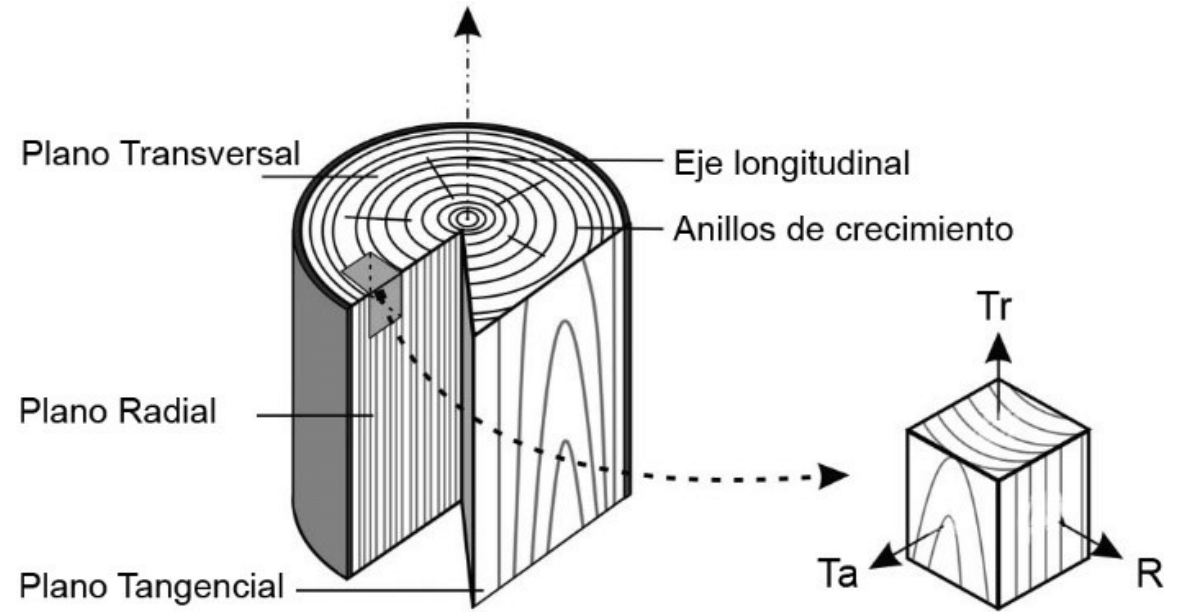


Relación de PEB y clasificación madera en CR

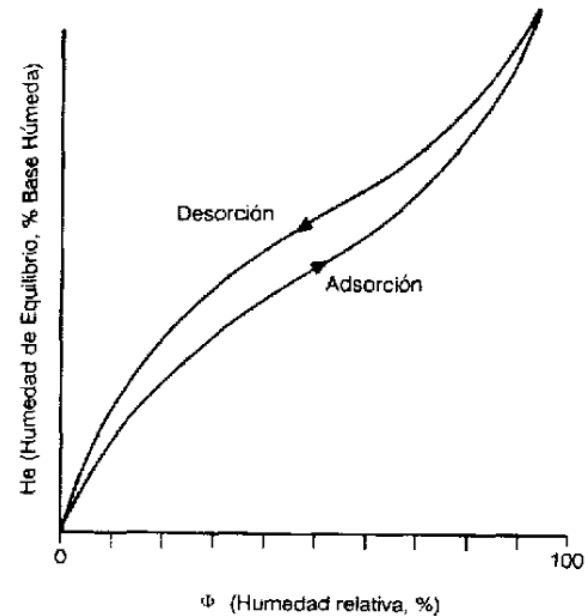
Peso específicos básicos	Termino descriptivo FPL 0171	Clasificación de Costa Rica.
Menos de 0.20	Extremadamente liviana	Liviana
0.20 a 0.25	Excesivamente liviana	
0.25 a 0.30	Muy liviana	
0.30 a 0.36	liviana	
0.36 a 0.40	Moderadamente liviana	
0.40 a 0.42	Moderadamente liviana	Semidura
0.42 a 0.50	Moderadamente pesada	
0.50 a 0.60	Pesada	
0.60 a 0.72	Muy pesada	Dura
0.72 a 0.68	Excesivamente pesada	
Más de 0.68	Extremadamente pesada	

Otras características de la madera

Anisotrópica:

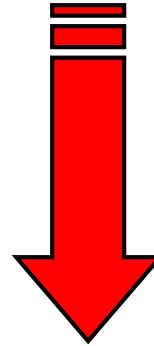


Higroscópica:



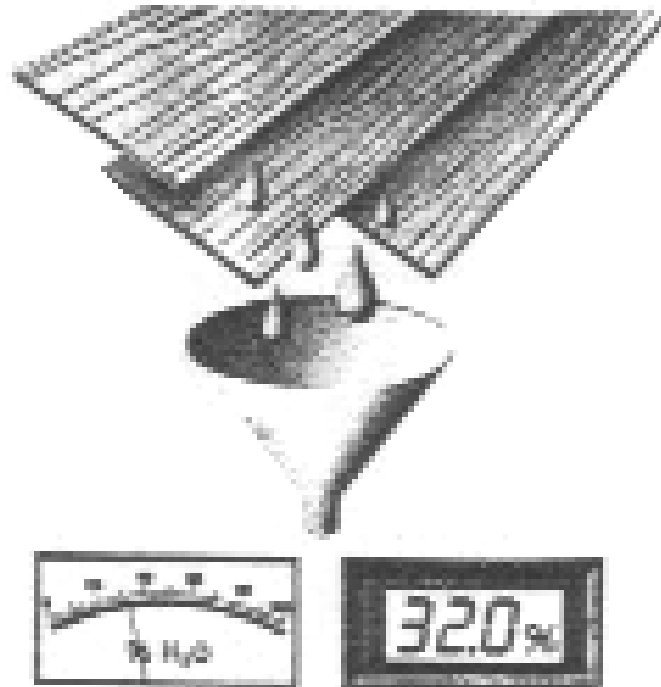
Concepto general del secado

El agua dentro del árbol vivo es esencial para su crecimiento, al cortar el árbol se inicia la eliminación del agua en la madera. Primero se evapora la humedad superficial y luego se remueve el agua de su interior para reemplazar la que ya fue eliminada.



En el secado industrial se elimina el excedente del agua en la madera de forma rápida. Tratando de minimizar los defectos que se puedan producir

“Por secado de la madera se entiende, en forma general, el proceso de eliminación del agua en exceso del material recién aserrado, que se aplica con el propósito de optimizar su posterior procesamiento y transporte para usos específicos.”



Humedad y densidad de la madera

La humedad (agua) en la madera varía de una especie a otra.

Madera recién cortada de ciprés (*Cupressus lusitanica*) puede presentar hasta un 130% de CH respecto a su peso seco, mientras que madera de Jaúl (*Alnus acuminata*) presenta un 90% de CH.

Si tomamos un mismo volumen de ambas especies, por ejemplo 5 m³

Tendríamos que :

La madera de Ciprés pesará 4 250 kg y la cantidad de agua presente será de 2 403 kg (2 403 lts)

Mientras que la madera de Jaúl pesará 3 850 kg, pero solamente contendrá 1 824 kg de agua (1 824 lts).

La diferencia en la cantidad de agua que contiene cada especie se debe a la densidad que manifiesta la madera al contenido de humedad inicial.

Densidad Ciprés CHi (57%)= 850 kg/m³

Densidad Jaúl CHi (47%)= 770 kg/m³

Tipos de agua presentes en la madera

- a) Agua libre
- b) Agua atada
- c) Agua de constitución



a) Madera condición verde
CH mayor a PSF

b) Madera condición saturada
(PSF)

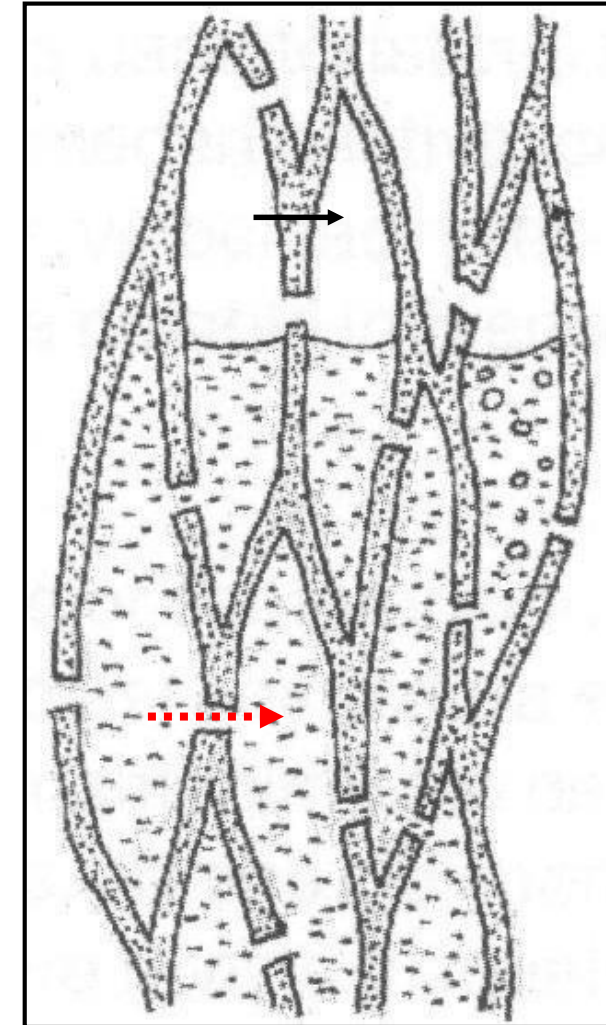
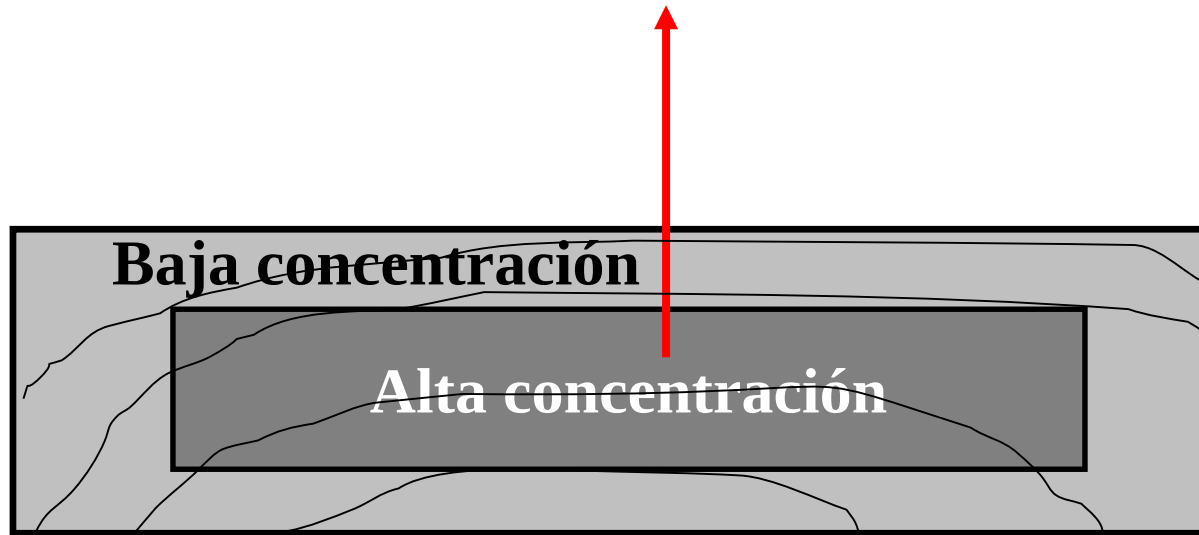
c) Madera en condición anhidra
CH= 0%

El secado de la madera, sea por medios artificiales o al aire, el agua es eliminada de la superficie de la madera por medio de la evaporación.

**Velocidad de
evaporación
del agua**

- 
- *Temperatura*
 - HR_{aire}
 - V_{aire} a través de la pila

Desplazamiento o movimiento de la humedad



❑ Permeabilidad de la especie

❑ PE de la especie

❑ Albura y duramen

❑ Estructura anatómica

.....▶ Agua libre que se mueve a través de las punteaduras
 —————▶ Vapor_{agua} que se mueve a través de la PC

Factores que influyen el proceso de secado

Factores internos: Propios de la madera y no los podemos modificar

- ❖ Especie de madera
- ❖ Tipo de madera
- ❖ Contenido de humedad inicial
- ❖ Dirección de la fibra
- ❖ Espesor

Factores externos: Se pueden variar en un proceso de secado artificial

- ❖ Temperatura
- ❖ Humedad relativa
- ❖ Velocidad de circulación de aire

Clasificación de la madera para el secado

Criterio de clasificación	Comentarios
<i>Por especie</i>	Maderas de secado rápido o lento, tendencia a sufrir defectos, necesidades de mercado y/o producción.
<i>Por Espesor</i>	La velocidad del secado depende o es afectado por el espesor de la madera. Las piezas de menor espesor se secan primero.
<i>Por Anchos</i>	Es conveniente organizar las piezas de forma tal que queden espacios homogéneos y verticales “chimeneas” en el interior de la pila.
<i>Por longitud</i>	Asegurar una restricción mecánica y evitar deformaciones y rajaduras por extremos (alineamiento de separadores), el apilado es más fácil con piezas de la misma longitud.
<i>Por contenido de humedad</i>	La madera aserrada proviene de distintos lotes de producción, lo que implica $CH_{\text{iniciales}}$ distintos, por lo que es conveniente separar aunque sean espesores y especies iguales.
<i>Por calidad</i>	Conviene clasificar por grados de calidad para secar la madera de mayor valor en condiciones menos severas. A veces la madera de menor calidad se usa para proteger las partes superiores y laterales de las pilas.

Bloque 2:

Importancia del secado



Importancia del secado de la madera

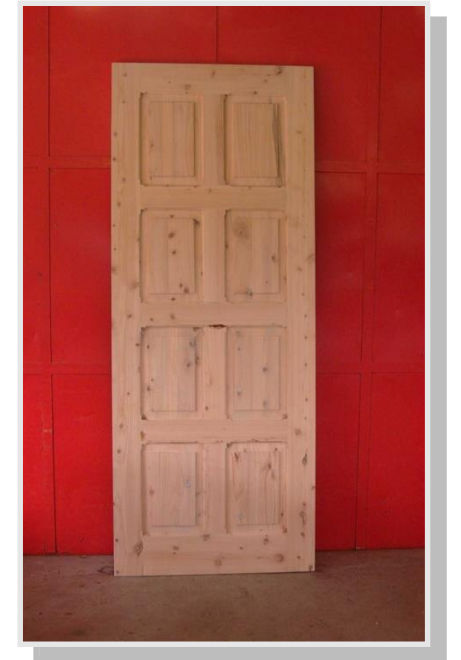
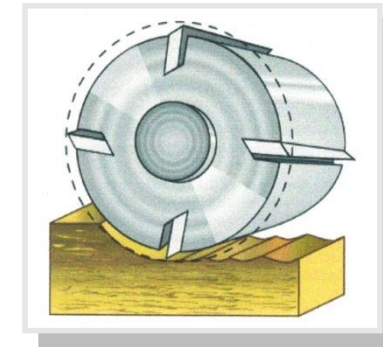
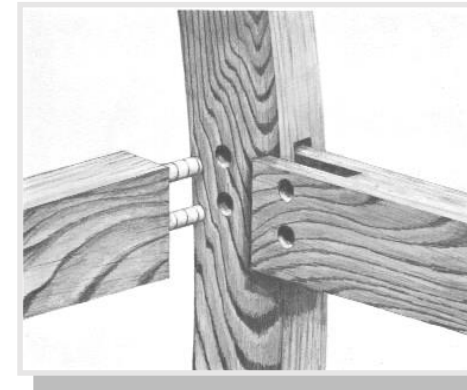
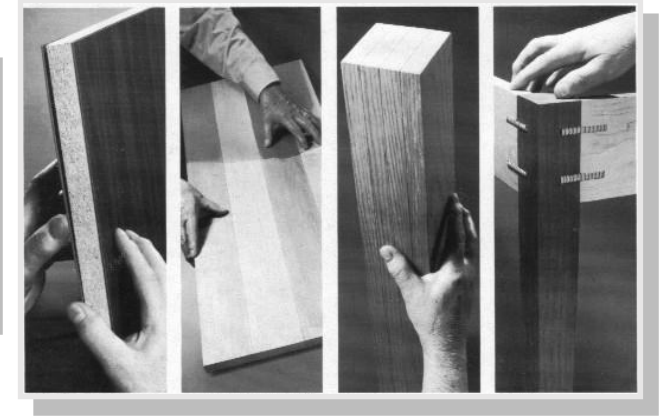
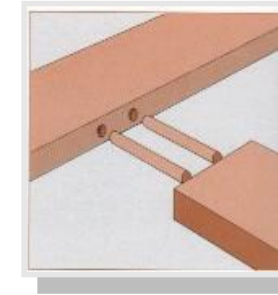
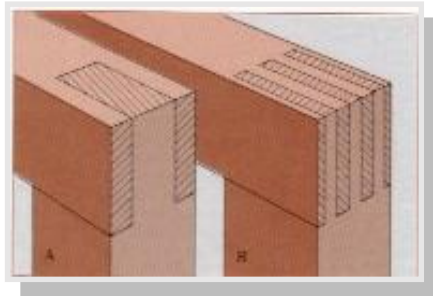


Para asegurar la mayor estabilidad dimensional, conviene secar la madera a un CH que represente el promedio del lugar en donde ésta prestará servicio.

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

¿Porqué secar la madera?

Para la mayoría de los usos finales de la madera, es de vital importancia reducir su contenido de humedad antes de su transformación en productos, a un nivel apropiado de acuerdo al lugar donde se utilizará, con el fin de obtener un producto estable que se desempeñe satisfactoriamente en servicio; si no un secado "informal" ocurrirá durante su utilización, produciendo frecuentemente efectos indeseables y en algunos casos resultados desastrosos. Las industrias de la madera, en general, se abastecen de madera en estado húmedo. Si la industria no cuenta con adecuadas facilidades para secar la madera, ya sea por medio de secado al aire o secado artificial, esta madera pasará al proceso productivo sin ningún control en cuanto a su contenido de humedad, dando como resultado problemas durante su manufactura, acabado y servicio.



Ventajas del secado:

- ☐ menor peso
- ☐ mejor encolado
- ☐ mejor acabado
- ☐ mejora la trabajabilidad y maquinado
- ☐ aumenta la resistencia mecánica de la madera (25%) respecto a madera verde
- ☐ aumenta la resistencia al biodeterioro (ataque de hongos)
- ☐ madera aceptada para exportación CH entre 6-8%

Secado al aire
o artificial



Relación higroscopía de la madera y CHE

Madera en proceso o en servicio tomará o perderá humedad hasta que alcance el valor de **CHE**



El equilibrio higroscópico depende de la zona geográfica y al ambiente de uso (interior o exterior)

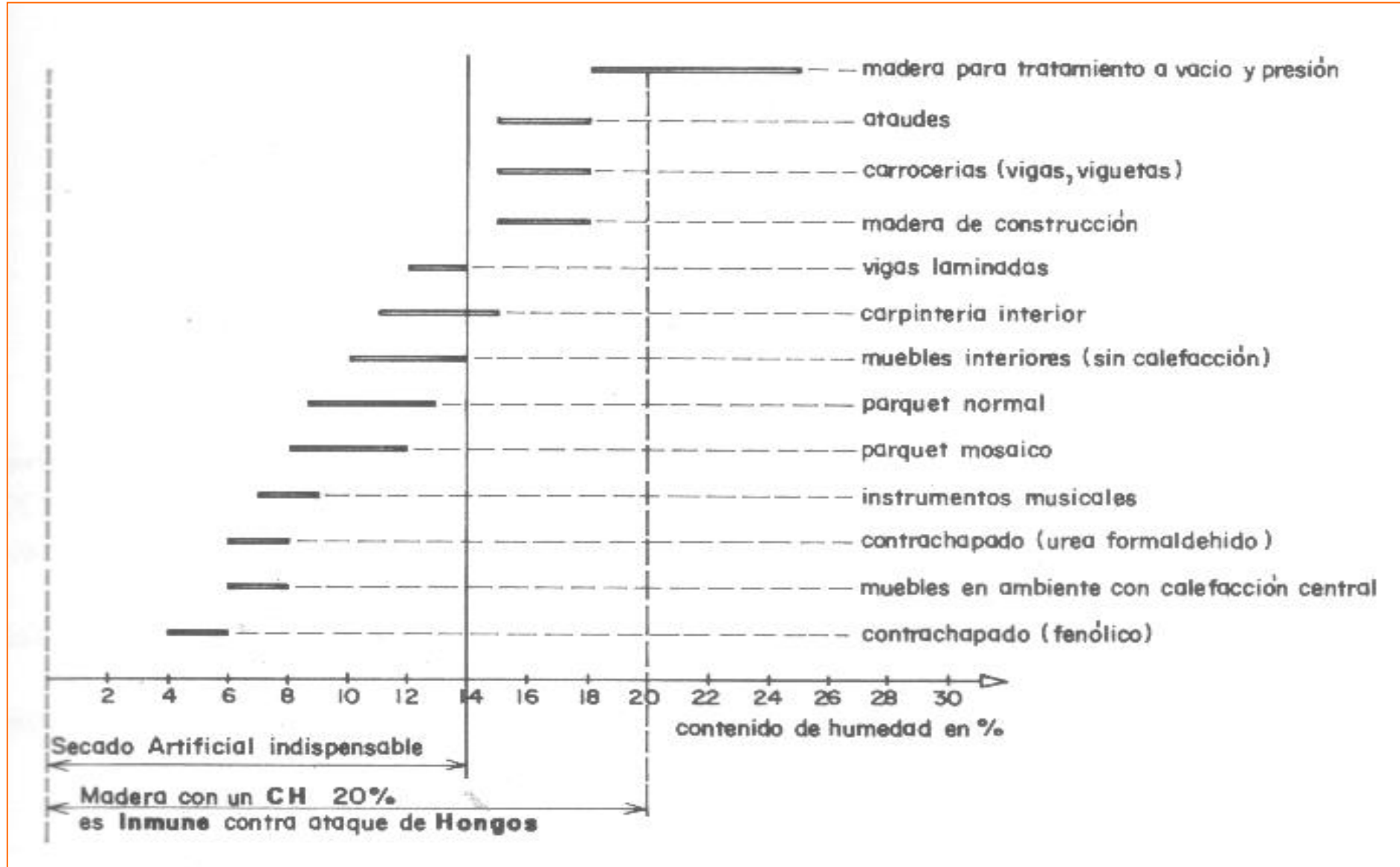


T aire °C	Humedad relativa									
	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
12	1.9	3.2	4.5	5.7	6.7	7.7	8.7	9.6	10.4	11.
14	3.7	5.1	6.4	7.5	8.6	9.7	10.6	11.5	12.4	13.
16	5.6	7.0	8.2	9.4	10.5	11.6	12.5	13.5	14.3	15.
18	7.4	8.8	10.1	11.3	12.4	13.5	14.5	15.4	16.3	17.
20	9.3	10.7	12.0	13.2	14.4	15.4	16.4	17.4	18.3	19.
22	11.1	12.5	13.9	15.1	16.3	17.3	18.4	19.4	20.3	21.
24	12.9	14.4	15.8	17.0	18.2	19.3	20.3	21.3	22.2	23.
26	14.8	16.3	17.6	18.9	20.1	21.2	22.3	23.3	24.2	25.
28	16.6	18.1	19.5	20.8	22.0	23.1	24.2	25.2	26.2	27.
30	18.4	19.9	21.4	22.7	23.9	25.0	26.2	27.2	28.2	29.

IMPORTANCIA DEL CHE DE LA MADERA

El conocimiento del CHE es fundamental para la conducción del secado artificial.

Existe relación entre el CH_{final} y el CHE.



Bloque 3:

Determinación del %CH



Determinación del CH en la madera

El agua presente en la madera se expresa como el contenido de humedad y se define como la relación del peso del agua contenida en la madera respecto al peso seco (libre de humedad) de la madera.

Existen varios métodos para determinar el CH de la madera, los más importantes:

Método gravimétrico:

$$CH = ((P_{\text{inicial}} - P_{\text{seco}}) / P_{\text{seco}}) * 100$$

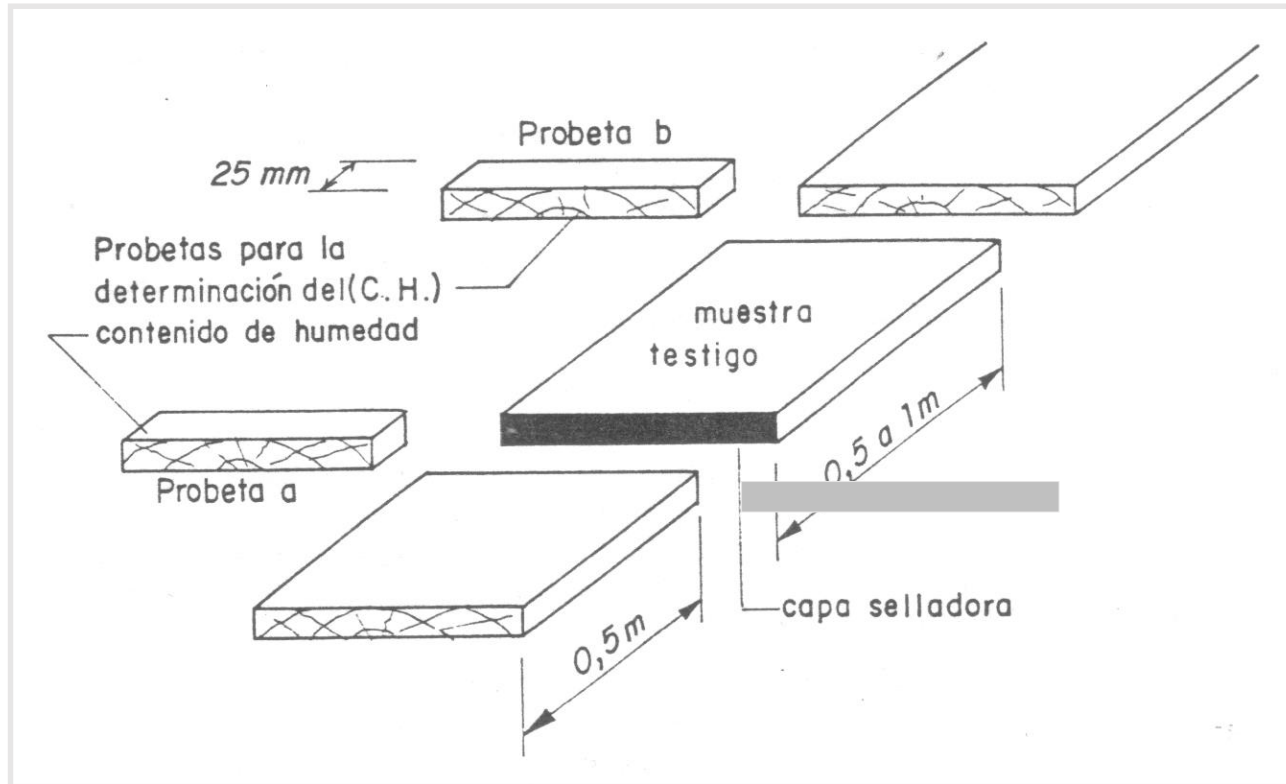


Método eléctrico:

La propiedad eléctrica más importante de la madera es su resistencia al paso de una corriente eléctrica.



Control del contenido de humedad en una pila de secado



$$CH = \left(\frac{Pv - Po}{Po} \right) * 100$$

$$Po = \frac{Pv}{1 + \frac{CH}{100}}$$

$$Pv = Po * \left(1 + \frac{CH}{100} \right)$$

Preparación de las muestras testigo para el control del %CH de la madera durante el secado

Bloque 4:

Métodos de secado

Métodos o sistemas de secado para madera

Tipo de secado	Algunas características
Al aire (Air drying)	Exponer la madera a las condiciones ambientales, sin poder controlar algunas variables como temperatura, velocidad del aire, HR.
Al aire con aire forzado (Forced air drying)	Exponer la madera a las condiciones ambientales + abanicos.
Baja temperatura (Low-temperature)	Madera expuesta a 25-45 °C. Humedad es controlada parcialmente, la circulación de aire a través de la pila 150 m/min.
Convencional (Kiln drying)	Madera expuesta dentro de una estructura hermética a 95 °C máx. con control Humedad (aspersores de vapor y ventilas), circulación aire 76-120 m/min
Alta temperatura (High temperature)	Madera expuesta dentro estructura hermética a 100-150 °C, circulación aire sobre 240m/min.
Deshumidificación (Dehumidification drying)	Difiere de los otros métodos por la forma en como se elimina la humedad, condensada en los serpentines de deshumidificador y retirada en forma líquida. 70 °C máximo, operan prioritariamente con energía eléctrica.
Solar (Solar drying)	Utilizan energía solar (directa o indirectamente), limitados en la temperatura (55 °C) y alto costo de los colectores solares.
Al vacío (Vacumm drying)	Menor tiempo de secado, la humedad puede ser vaporizada y removida a temperaturas menores a los 100 °C, aplicar temperatura a presión (apertura de poros) y luego aplicar vacío para extraer el agua, limitación en el volumen de madera a secar.
Radio frecuencia (Ray frequency)	Ideal para cargas pequeñas, Tecnología muy costosa (compra de generadores y cantidad de energía), principio de microondas, hacer vibrar a alta frecuencia las moléculas de agua y producir la evaporación. Tiempos de secado muy rápidos.

Métodos de secado de madera más comunes

1. Secado completo al aire libre (secado natural).
2. Secado completo en cámaras de secado u hornos (convencional).
3. Secado al aire hasta cerca del PSF y completando el proceso en un horno (convencional).

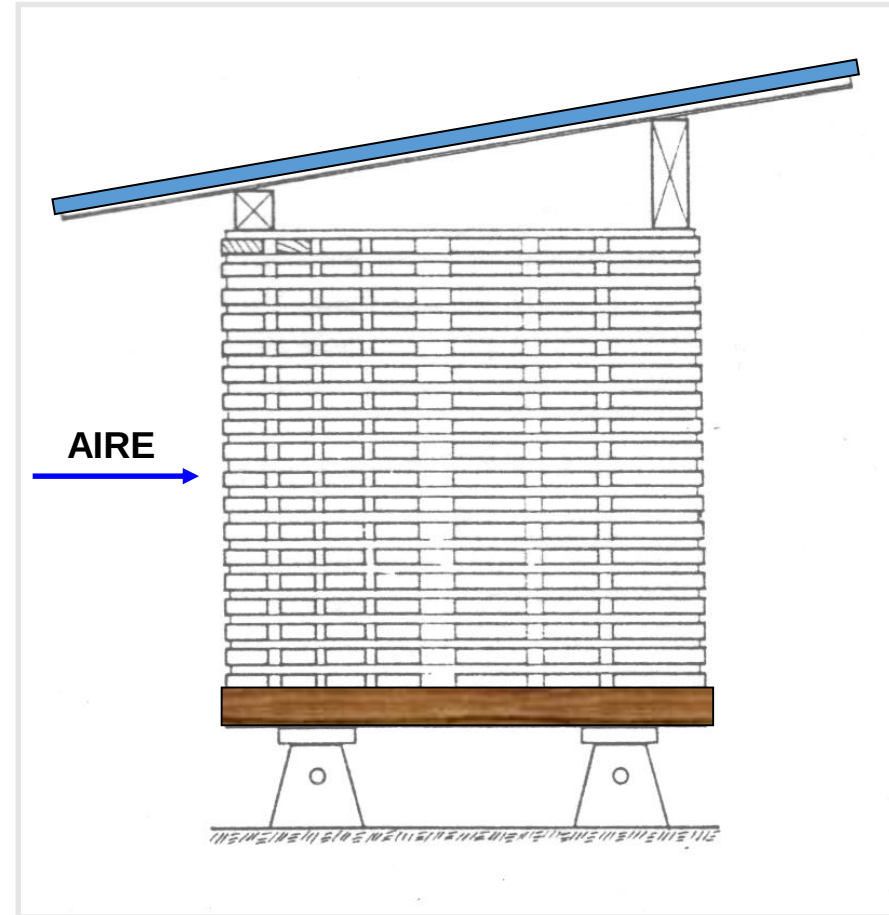
El método a emplear depende de algunos factores:

- la especie de madera
- espesor del material
- la velocidad secado
- la degradación o daño permisible
- abastecimiento (producción) o de la demanda de made

Secado natural o al aire

Consiste en exponer la madera a la acción de los factores climáticos de un lugar. Estos factores son la temperatura, la humedad relativa (HR) y el aire, que en constante movimiento sirve de agente para establecer un equilibrio higroscópico entre el ambiente y la madera.

Por este método, no es posible alcanzar contenidos de humedad menores a los correspondientes a la humedad de equilibrio del lugar. Por lo que este método es utilizado muchas veces como un pre-secado.



Apilado horizontal para secado al aire

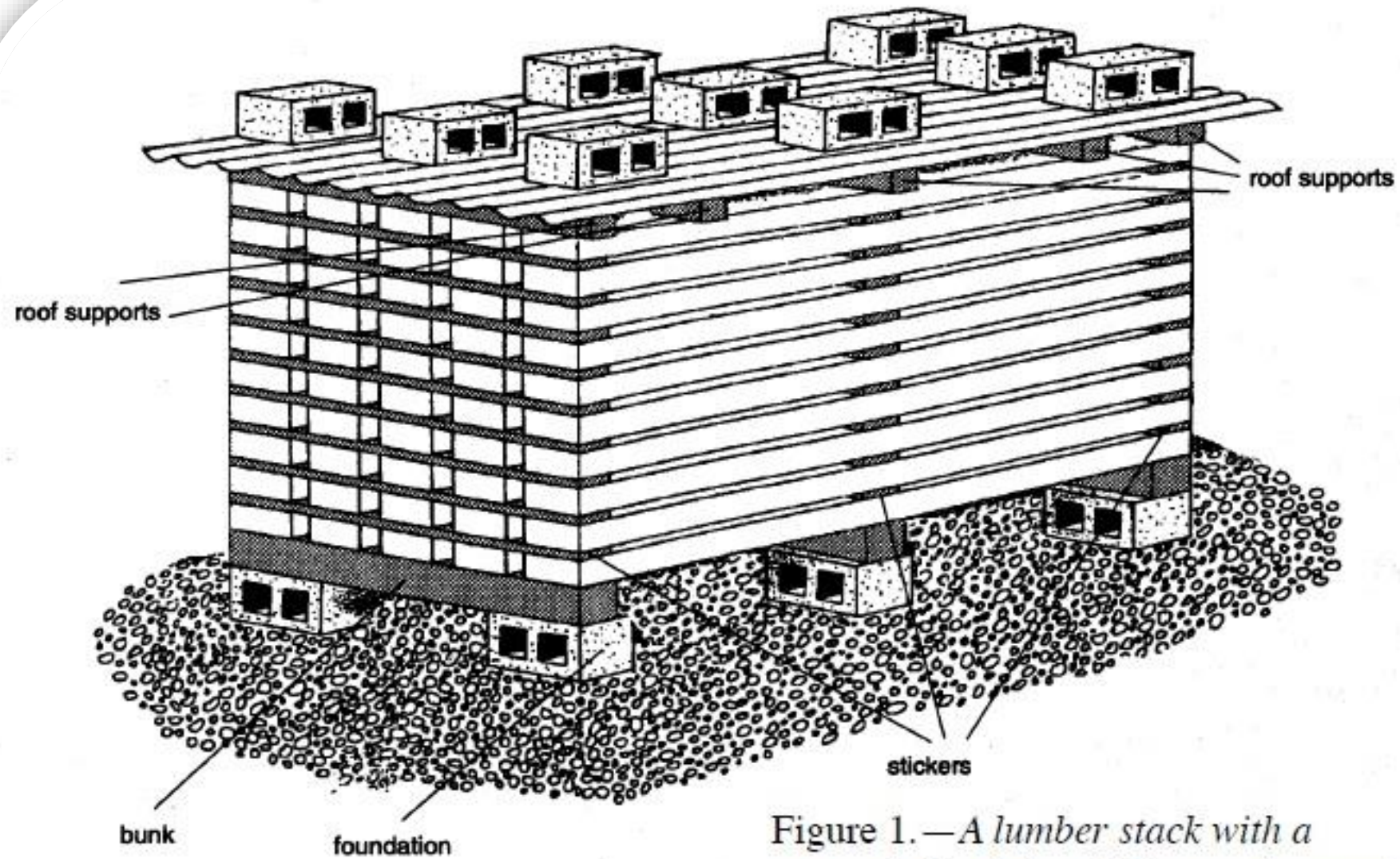


Figure 1.—A lumber stack with a concrete block foundation and correct sticker alignment. A roof protects the lumber from sun and rain.

Aspectos a considerar para el control de un patio para secado al aire

Cobertores de pilas:

Protección a la madera lluvia, impide torceduras por mojado y secado continuo.

Filtros solares (sarán): disminuir rajaduras y grietas por testa, pueden ser necesarios a los costados de la pila o dependiendo de la orientación del Sol.

Pesas para las pilas: Minimizar el riesgo de torceduras durante el secado (efectivas 16-34 kg/cm²)

Tratamiento de las testas de la madera: disminuir riesgo de rajaduras y grietas por testa, entre más pronto se aplique a la madera aserrada mejor (pinturas)

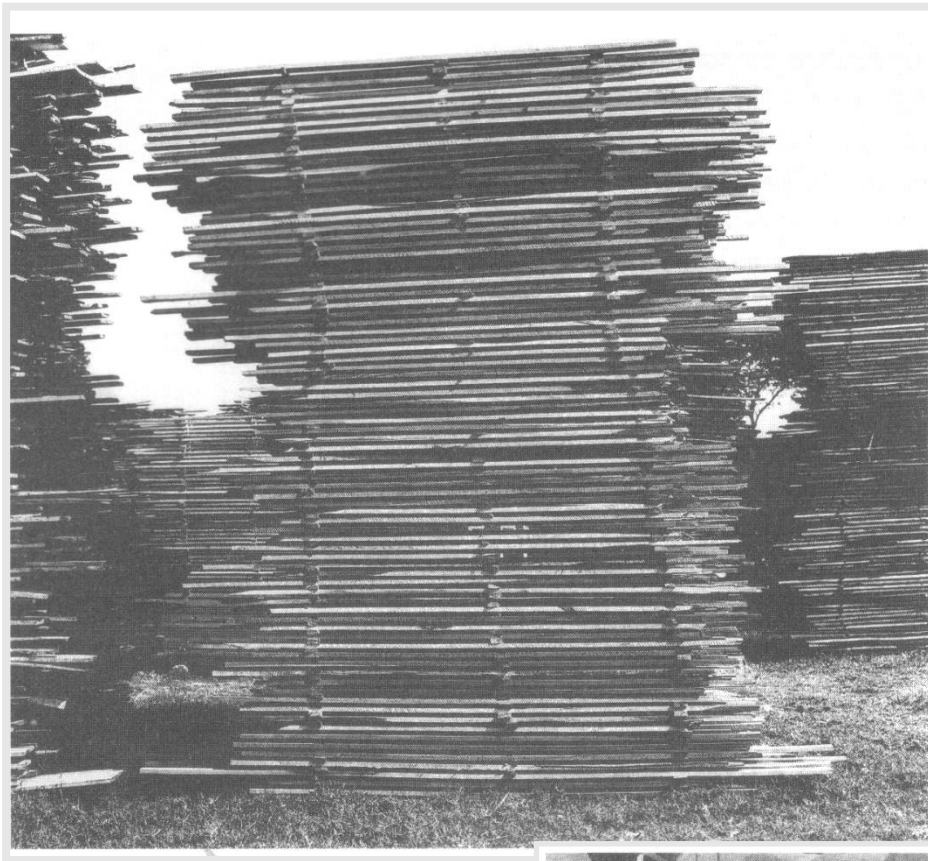
Aspectos a considerar para el control de un patio para secado al aire

Mantenimiento y sanidad del patio: Asegura drenajes apropiados, mejora la calidad de secado y mantiene buenas tasas de secado, reduce el riesgo del biodeterioro de la madera.

Bases para las pilas: Planas para controlar torceduras y altura entre 30-50 cm para prevenir concentración de humedad y biodeterioro en las capas de madera inferiores.

Espaciamiento de las pilas: Para acelerar o reducir las tasas de secado

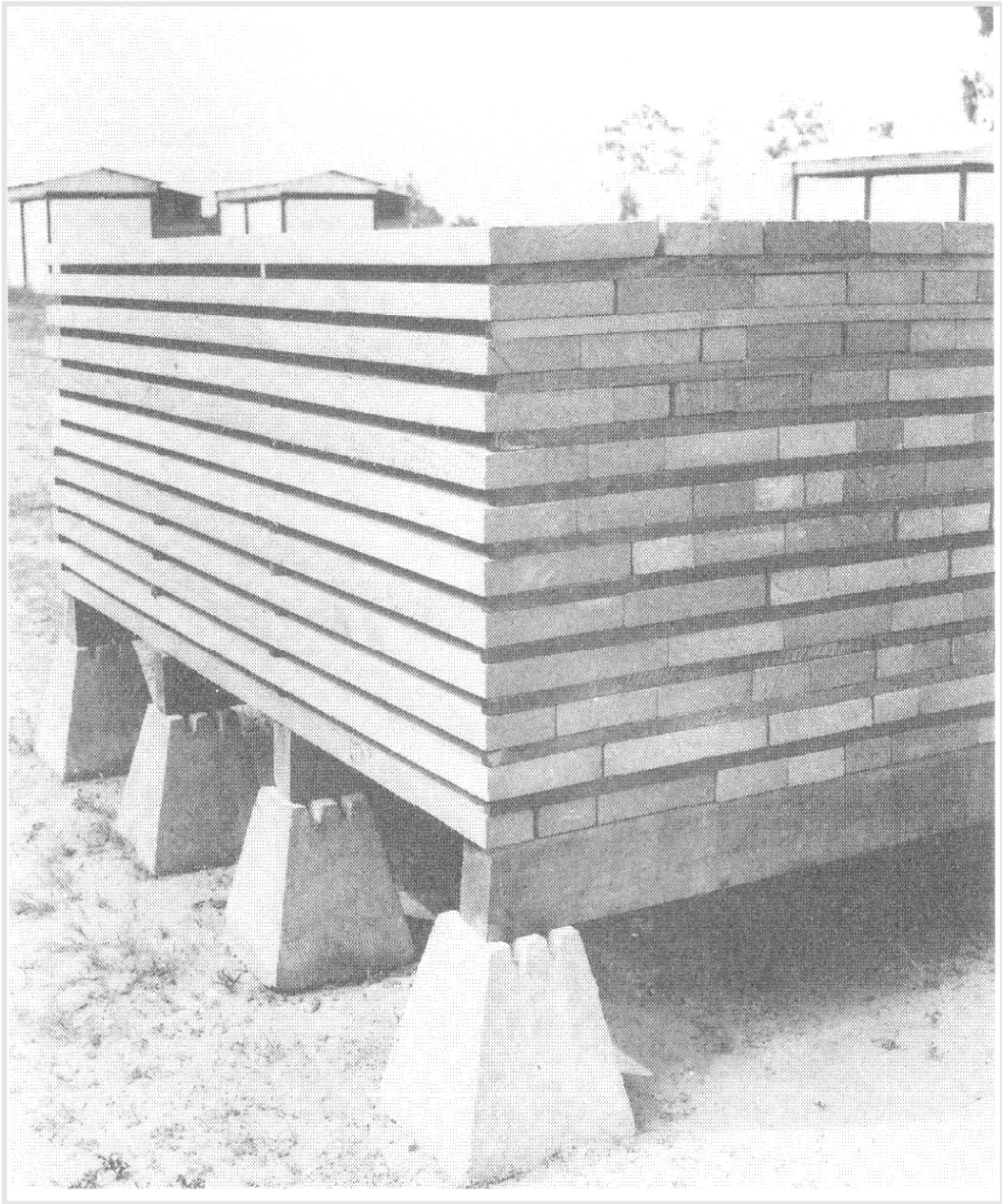
Tiempo de secado: debe basarse en el CHE y no en el tiempo (establecer controles de humedad con muestras testigo)



Apilado incorrecto:

- Sin separación entre el suelo y la pila de madera.
- Pilas de madera inclinadas.
- La vegetación en el suelo dificulta el secado y forma un medio propicio para la propagación de los agentes de biodeterioro en la madera.

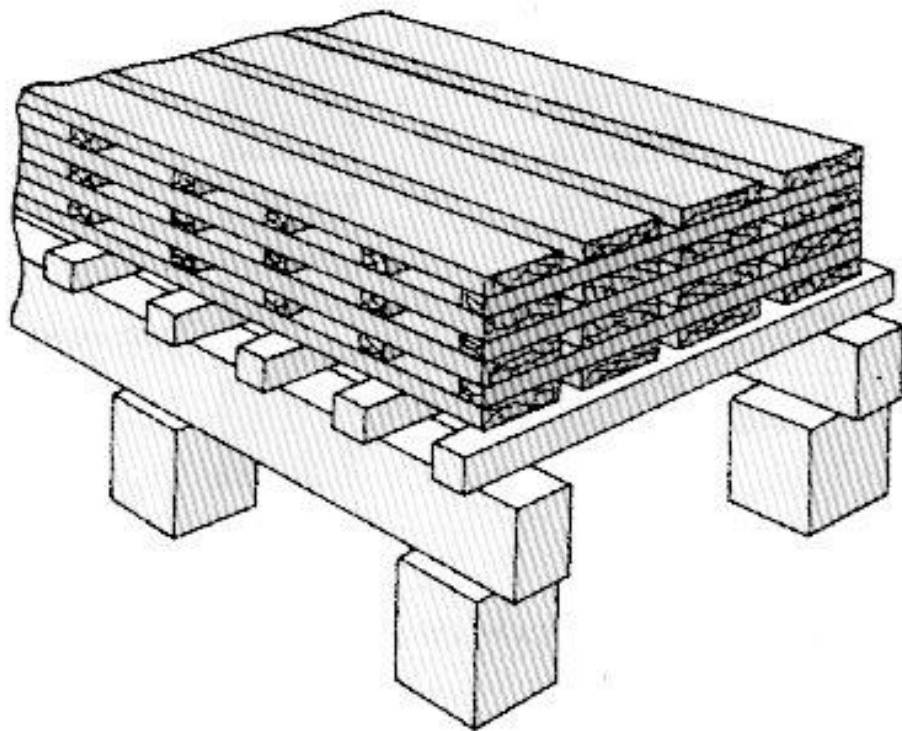




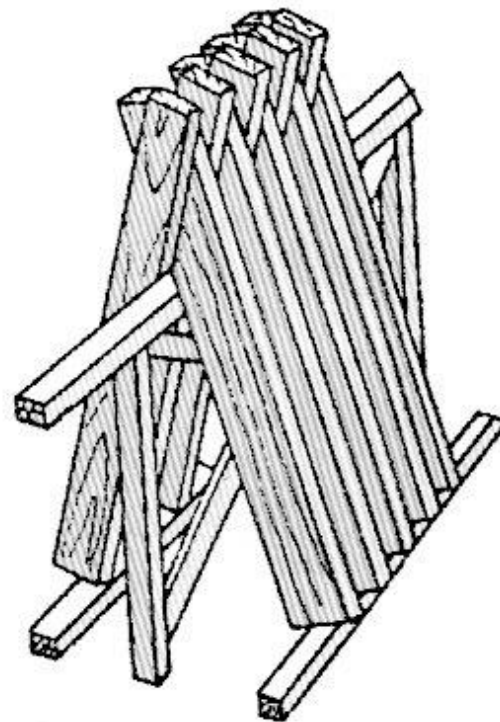
Espesor de las tablas (mm)	Espesor de los separadores (mm)	Distancia entre separadores (mm)
menos de 20	20	300 - 400
20 - 25	25	400 - 500
40 - 50	30	500 - 600
50 - 65	35	700 - 800
65 - 80	40	900
más de 80	45	1000



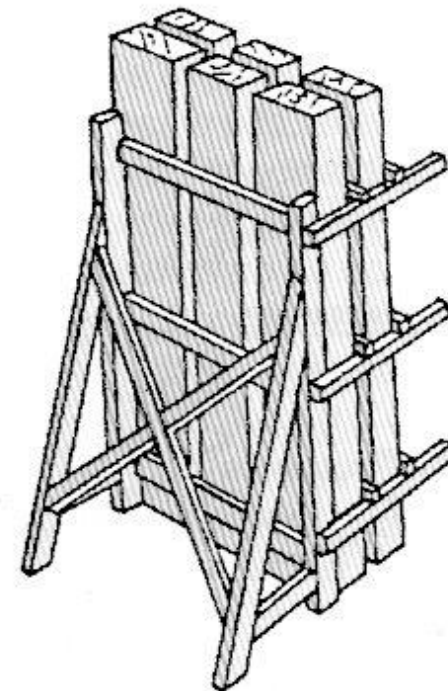
Sistemas de apilado para secado al aire



Apilado horizontal



Apilado en tijera



Apilado vertical

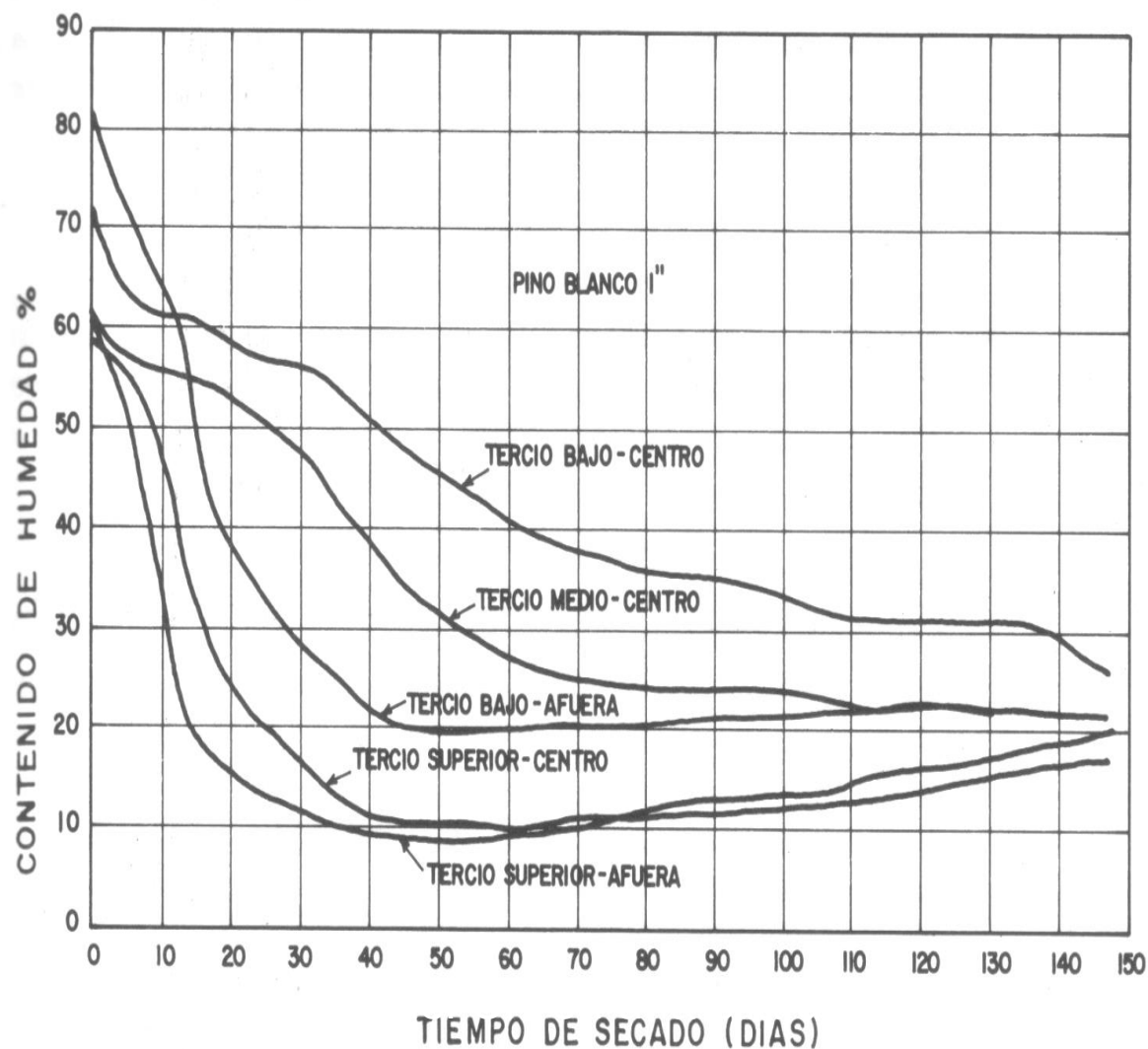
Variación del % CH en una pila de secado al aire

La sensibilidad de la madera para ganar o perder humedad depende de sus dimensiones y de su posición en la pila.

Por lo que NO todas las piezas de una pila de madera siguen el mismo ritmo de secado.

Normalmente la madera situada en la parte alta y en las partes laterales, por estar más expuestas al aire, se secan más rápido.

En las partes inferiores de las pilas, a donde tiende a llegar el aire frío y húmedo, el secado es más lento.



9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																
Clasificación	La especie se clasifica como de muy lento secado, siendo una de las especies de plantación de más lento secado. Los tiempos de secado son mayores a 100 días en tablas con grosor mayor a 2,5 cm. La madera aserrada presenta una mediana incidencia de defectos de secado.																
Tiempo de secado	La madera de melina presenta una razón de secado que oscila entre 0,38 a 1,86%/ día y tiempos para alcanzar el 20% de contenido de humedad entre 75 y 366 días para espesores menores de 7,5 cm. El siguiente cuadro muestra los diferentes parámetros de secado al aire para melina de diferentes espesores. <table><tr><th>Espesor (cm)</th><th>CHI* (%)</th><th>Número de días**</th><th>Razón de secado (%/día)</th></tr><tr><td>1,25</td><td>140</td><td>75</td><td>1,86</td></tr><tr><td>2,5</td><td>140</td><td>145</td><td>0,96</td></tr><tr><td>50,8</td><td>140</td><td>366</td><td>0,38</td></tr></table> *CHI: Contenido de humedad inicial **Número de días para alcanzar 20% de CH.	Espesor (cm)	CHI* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	1,25	140	75	1,86	2,5	140	145	0,96	50,8	140	366	0,38
Espesor (cm)	CHI* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)														
1,25	140	75	1,86														
2,5	140	145	0,96														
50,8	140	366	0,38														
Calidad del secado	<i>Grietas y rajaduras:</i> el aserrio en corte radial presenta grietas en mayor cantidad que en corte tangencial u oblicuo. Las piezas que contienen médula son susceptibles a las rajaduras. <i>Arqueadura:</i> piezas de poco ancho no presentan este defecto. Madera tangencial y con ancho superior a 12 cm presenta algunos problemas. <i>Encorvadura:</i> piezas de poco ancho no presentan este defecto, pero se presentan en mayor cantidad en madera tangencial y ancho superior a 12 cm. <i>Alabeo:</i> no se presenta en madera apilada apropiadamente. <i>Colapso:</i> puede que se presente en madera aserrada proveniente de la parte central de la troza, parte alta del árbol o de árboles jóvenes. <i>Acanalado:</i> en piezas anchas se presentan con mediana abundancia. <i>Manchas:</i> la región de la albura se produce manchas cuando hay incidencia de la lluvia durante el secado.																



Secado al aire de bloques de 7,5 cm de espesor



Rajaduras producidas por incidencia directa de rayos solares



Mancha de separador por tiempo prolongado de secado

Fotografías | Róger Moya y Guillermo González

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado			
Clasificación	Secado lento, con pocas torceduras, grietas y reventaduras. Susceptible a producir bolsas de humedad por presencia de madera ultra húmeda, de tipo bacteriológico, en su crecimiento.				
		Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)
Tiempo de secado	Madera de 2,54 cm de espesor presenta un tiempo de secado de 250 a 290 horas, incrementando con el espesor de la madera. Se recomienda secar piezas con menos de 8 cm de espesor por el alto costo y tiempo de proceso.	Calefacción	70	19	96
			72	18	94
		Secado	73	17	92
			75	16	90
			76	15	88
			77	14	86
			78	13	84
			80	12	81
			83	11	78
			85	10	74
			86	9	70
			Igualación	87	8
Acondicionamiento	88	7	60		
Enfriamiento	89	6	53		
Calidad del secado	El secado influye en la incidencia de rajaduras y grietas luego del aserrio, las que incrementan en 20,8 mm y 24 mm en promedio respectivamente. La arqueadura incrementa en 5,4 mm y la encorvadura disminuye en 6,7 mm, el alabeo aumenta en menos de 1 mm afectando tanto tablas que presentaban el defecto como las que no lo presentaban antes del secado. El acanalado luego del secado es de 1,5 mm, sobre todo en madera de corte tangencial.	T: Temperatura CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio HR: Humedad Relativa Fuente: Moya y Muñoz, 2008			



Presencia de "ultrahumedad" por ataque de bacterias en el árbol en pie y con posibles problemas de secado



Rajaduras luego del secado por presencia de médula



Medición del contenido de humedad con métodos eléctricos, luego del secado

Fotografías | Róger Moya

Duración del secado al aire

La duración del secado depende de:

Factores Climáticos:

1. T°C
2. % HR
3. V circulación aire

Factores material (madera):

1. Especie
2. Espesor
3. CHi
4. Proporción albura/duramen

Por lo que no se pueden dar normas fijas

Especie (27 mm)	Duración* (meses)
Pinos, Chopo	1-5
Castaño	2-6
Nogal	2-6
Haya	3-6
Roble	4-10

Con el secado al aire se busca:

El secado al aire no es solo apilar la madera en el patio y esperar confiadamente a que ésta se seque de una manera razonable. Sino más bien es manejar el proceso de tal manera que los riesgos de aparición de los defectos sean mínimos, mientras se fomenta una tasa de secado razonable para la especie y espesor involucrados.

Practicar técnicas y procedimientos adecuados nos permitirá controlar en algún grado la calidad del secado al aire.

Ventajas y limitaciones del secado al aire

Ventajas:

- Bajo costo de la inversión inicial en equipo.
- Utilizado como sistema de pre-secado disminuye los costos del secado artificial.
- No requiere de personal altamente capacitado para el control del secado.

Limitaciones:

- La duración del proceso (madera 1" 45-60 días y madera 2" 60-90 días) e imposibilidad de CH_{final} bajos ($CH_{final} \geq CHE$). La uniformidad del secado no es tan buena.
- No es posible controlar parámetros como temperatura, HR, velocidad de circulación del aire, depende de las condiciones climáticas del lugar.
- La madera podría ser atacada por insectos y hongos (biodeterioro)
- Dependiendo de la demanda se requieren grandes inventarios en el patio.

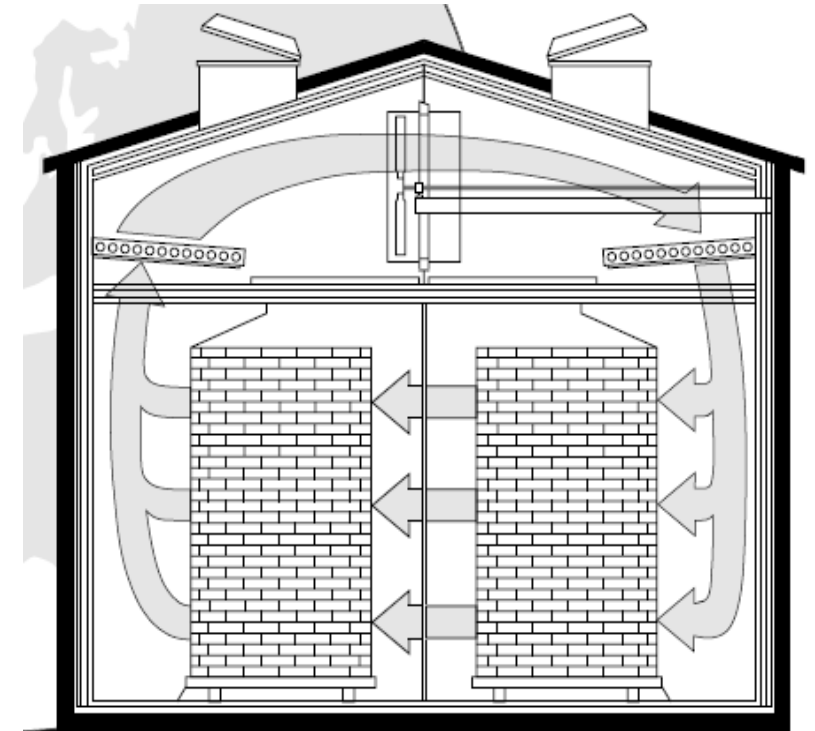
Secado artificial en hornos

Surgió como respuesta a las deficiencias del secado natural. Por medio de aparatos e instalaciones especiales, se establecen en recintos cerrados condiciones climáticas diferentes a las condiciones atmosféricas normales.

Mediante ventiladores, se produce un flujo de aire estable que circula a través de las pilas de madera, con temperatura y humedad relativa controladas de acuerdo a programas preestablecidos según la especie y dimensiones de la madera en proceso.

Los parámetros que nos permiten homogeneizar las partidas de madera adecuando y optimizando las condiciones de secado más favorables en cada caso son:

- ☐ Especie
- ☐ %CH
- ☐ Dimensiones
- ☐ Calidad de la madera.



Ventajas y limitaciones del secado al horno

Limitaciones:

- Alto costo de la inversión inicial en equipo, combustible, electricidad y supervisión.
- Dependiendo de la demanda se requieren secadores de gran capacidad (m^3).
- Requiere de personal altamente capacitado para el control del secado.

Ventajas

- Menor duración del proceso, se obtienen CH_{final} bajos de acuerdo al uso final.
- Es posible controlar parámetros como temperatura, HR, velocidad de circulación del aire, no depende de las condiciones climáticas.
- Se tiene más eficiencia en el proceso de secado, velocidad del secado es de 10 a 40 veces más rápido que el secado al aire.

Secadores solares para madera



Salas, C; Moya, R; Córdoba, R. (2008). TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS FORESTALES INFORME TÉCNICO N° 1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA. ***Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 5(14): 1-26**

Secadores solares para madera

Introducción

- ☐ Conveniente para la industria nacional aumentar el valor agregado de la madera.
- ☐ El secado de este material, hace posible fabricar productos de calidad en función de un contenido de humedad óptimo.
- ☐ El secado que tradicionalmente se lleva a cabo en Costa Rica es al aire libre, dependiendo de la región geográfica donde se realice el proceso de secado (CH entre 18 y 24%).
- ☐ Estos valores no son los óptimos para trabajar productos acabados, pues por lo general existen problemas de contracciones en la madera que afectan la aplicación de adhesivos y acabados, lijado, entre otros.
- ☐ La otra opción que existe es la de utilizar hornos convencionales, pero este sistema sólo está disponible en muy pocas industrias, debido a su alto costo de inversión y de operación, poca disponibilidad de mano de obra calificada y complejos sistemas de control de humedad de la madera y de temperatura y humedad relativa de la cámara de secado.
- ☐ La tecnología intermedia entre el secado al aire libre y el secado en horno convencional, es el uso de secadoras solares. La inversión inicial en la construcción de este tipo de secadoras no es muy alta y los diseños y modelos no son complejos de construir ni de operar; se puede obtener material seco más rápidamente y con contenidos de humedad óptimos para el producto acabado en las líneas de fabricación de muebles, puertas, juguetes, entre otros.

DISEÑO DE UNA SECADORA SOLAR

Las secadoras solares

Las secadoras solares son cámaras que tienen la capacidad de almacenar el calor que es generado por la incidencia de los rayos solares sobre un colector de temperatura. La idea es que el calor que se genera sea útil en el proceso de secado de la madera. Las cámaras de secado tienen dos partes fundamentales: la primera se ubica en la parte superior de la cámara y es la responsable de que el aire se caliente; la segunda es el área de apilado de la madera que se requiere secar (Figura 1).

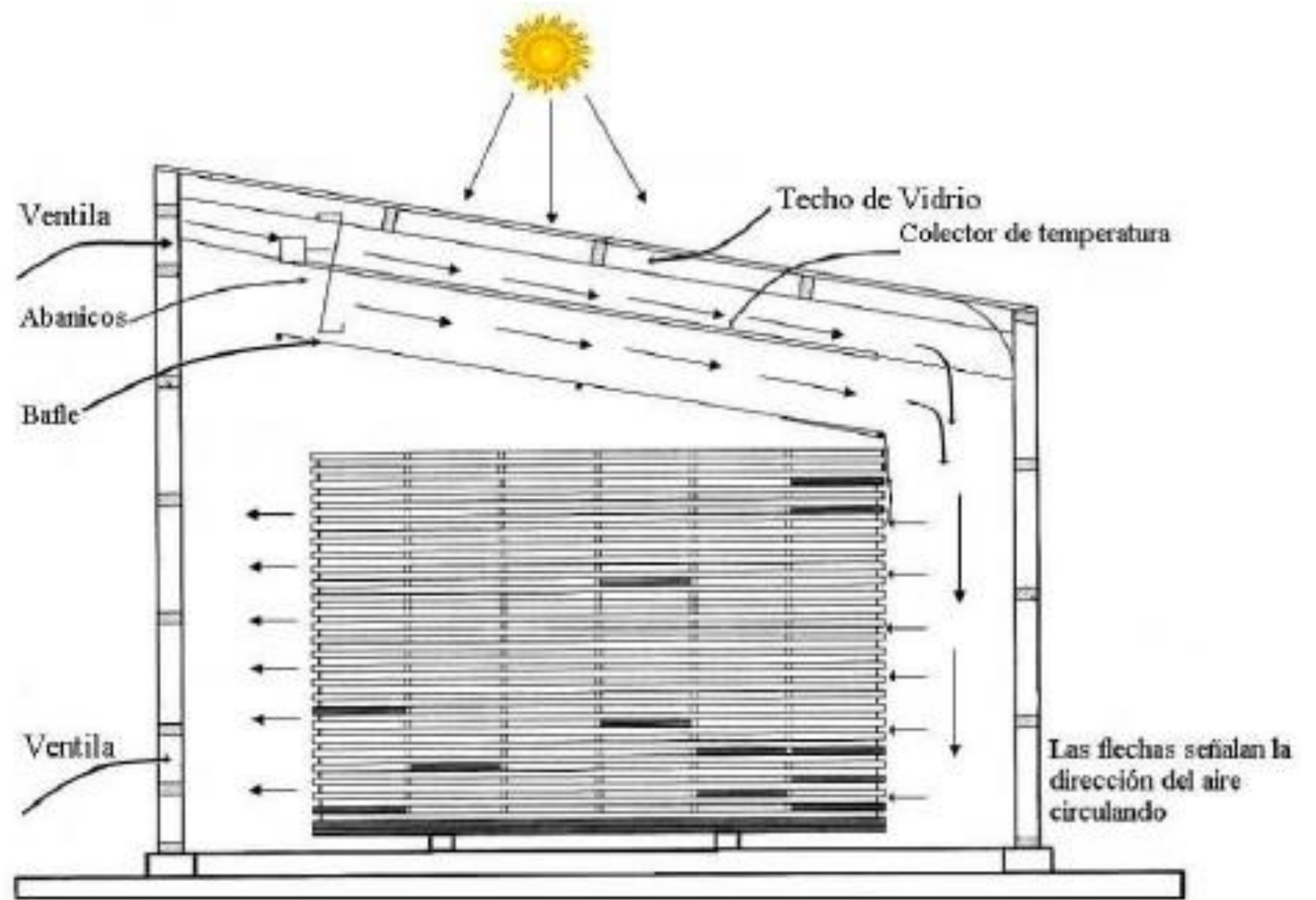


Figura 1. Principio general de un secador solar para madera.

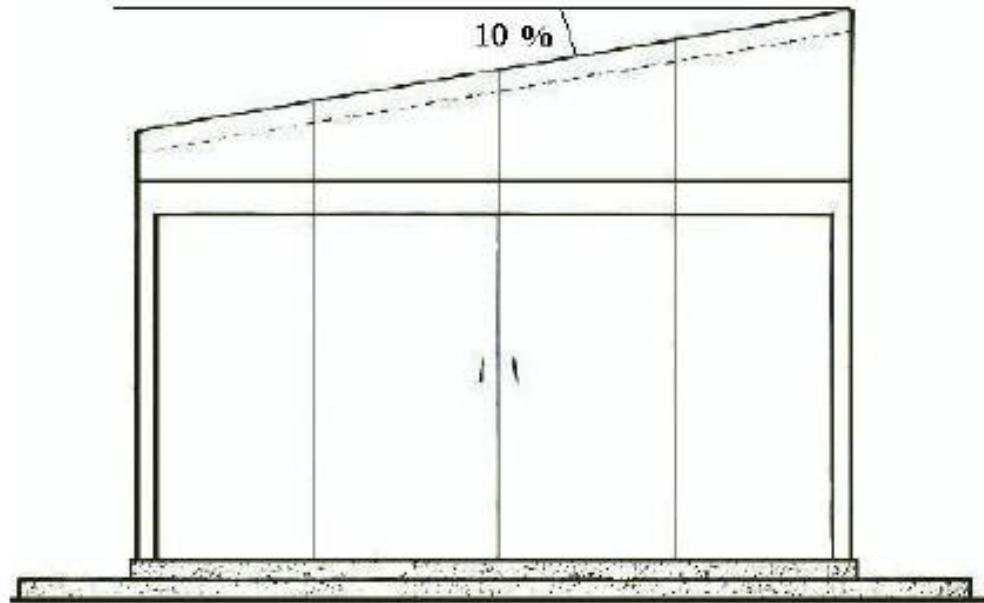
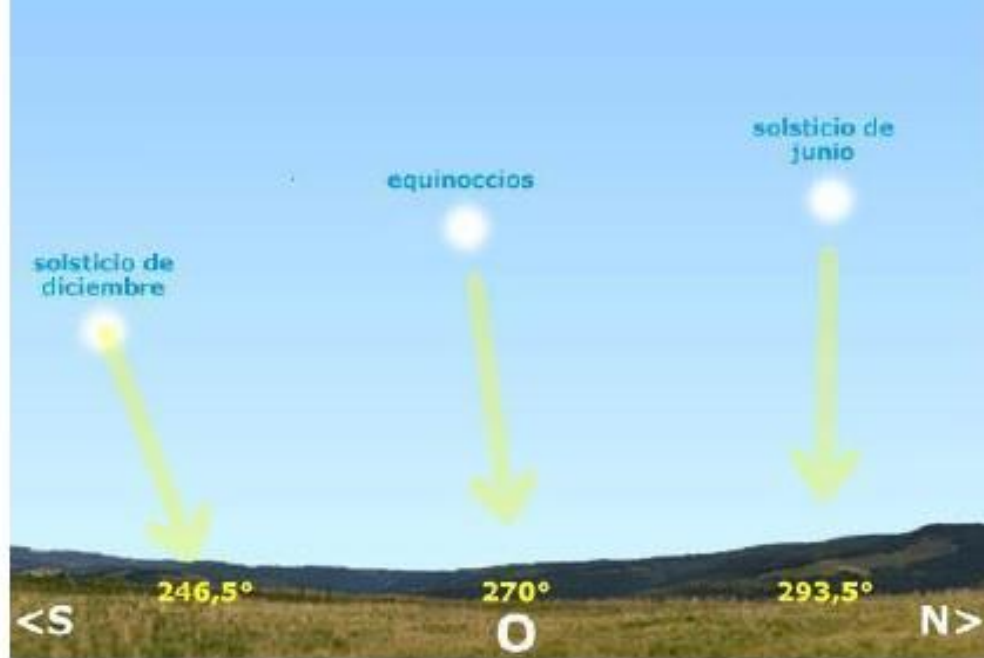


Figura 2. Posición de la secadora solar e inclinación con respecto a la incidencia de los rayos solares en Costa Rica (La imagen de la inclinación del sol para Costa Rica fue tomada de Villalobos, 2007).

Posición de la secadora

La posición de un secador solar depende de la incidencia de los rayos solares. Por ello, en primera instancia deben orientarse de norte a sur, para el caso de Costa Rica, pues el país se ubica en el Hemisferio Norte.

La caída o inclinación del techo, en el caso de Costa Rica, debe ser hacia el sur, de tal forma que se asegure la incidencia de los rayos solares lo más perpendicularmente posible, a lo largo del año.

El grado de inclinación va a corresponder con la latitud del país. Para el caso de Costa Rica esa inclinación es de 10%.

Esta inclinación permite que la variación en el ángulo de incidencia de los rayos solares en las diferentes épocas del año, no afecte la eficiencia en la captación de la energía sobre el techo y el colector de la secadora (Figura 2).

Tamaño y capacidad del secador solar

Cuando se diseña y construye una secadora solar, hay que considerar que el tamaño óptimo de la cámara está en función de la demanda de volumen de madera seca que requiere determinada industria.

La experiencia en Honduras indica que no es conveniente construir secadoras con capacidades superiores a los 15 m³ (Benítez y Calderón, 1993), pues cuanto más grande sea la cámara menos eficiente es el secado.

Otro aspecto a considerar es el ancho de la secadora. El diseño debe garantizar una uniformidad en la circulación de la masa de aire a través de la pila de madera que se pretende secar.

Es por ello que se recomienda que las secadoras no superen los 5 m de ancho (Benítez y Calderón, 1993).

Una secadora que tenga 3.5 m de ancho y 3.5 m de largo con una altura máxima de 3 m permite apilar una carga de madera de 6.6 m³ (Figura 3)



Figura 3. Secadora solar con capacidad máxima de 6 m³ instalada en el Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago.

DISEÑO DE UNA SECADORA SOLAR ALGUNOS DETALLES:



Instalación de fibra de vidrio



Detalle de soportes del colector y colector



Detalle de instalación y ubicación del baffle



Ubicación e instalación e instalación del ventilador

COSTOS

Costos de la construcción de la secadora según el diseño mostrado y confeccionado en octubre del 2007. Estos costos pueden rebajarse si algunos materiales se cambian por otros más económicos.

Costos de construcción de un modelo de secado solar de 6 m³ de madera.

Rubro	Valor (US\$) ¹	Porcentaje (%)
Mano de obra	2884.6	39.9
Cimiento	564.4	7.8
Paredes, puertas y ventanas	1945.8	26.9
Techo y colector	765.8	10.6
Ventiladores y sistema eléctrico	1016.5	14.1
Costos administrativos	46.2	0.6
Total	7223.3	100.0

¹Relación de cálculo: 1US\$=520 colones (¢)

Costos de operación por metro cúbico.

Rubro	Costo (¢/m ³)	Costo (US\$/m ³) ¹
Edificio (30 años)	941.6	1.8
Ventiladores (4 años)	609.7	1.2
Inversión inicial en materiales	59.5	0.1
Mano de Obra	2481.6	4.8
Energía eléctrica (1.1 kw/hr*264 hr)	408.5	0.8
Costos de mantenimiento	204.2	0.4
Costo de materiales	18.9	0.04
Equipo de control (10 años)	980.4	1.9
Subtotal	5704.4	11.04
Costo de capital (18%)	6121.08	11.77
Total	11825.5	22.83

La inversión de instalar un **horno convencional para secado** es de aproximadamente **50 000 US\$**, es decir un **85.5% más cara que la inversión de construir una secadora solar**, esto sin incluir los costos de la energía para el funcionamiento de la secadora, que en el caso del horno convencional son bastante elevados.

Se estima la **vida útil del secador en 30 años**. Si los **ventiladores trabajan 24 horas al día y realizan 24 cargas al año** pueden tener una vida útil de 4 años.

¹Relación de cálculo: 1US\$=520 colones (¢)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ☐ Antes de efectuar la inversión en la construcción de una secadora solar es importante que se evalúen las necesidades de materia prima, con el fin de construir la secadora según las necesidades óptimas del usuario. Al diseñar y construir una secadora solar, el aislamiento térmico es de vital importancia para asegurar la calidad de la secadora.
- ☐ El vidrio, aunque es frágil, resulta ser el mejor material para construir el techo de la secadora.
- ☐ Para asegurar la mayor cantidad de radiación solar perpendicular al techo de la secadora, en el caso de Costa Rica, debe construirse en dirección norte-sur con inclinación de 10%.
- ☐ Si se comparan los costos del secado en horno convencional con el de secadora solar, esta última ofrece la ventaja de tener una inversión inicial relativamente baja. La inversión de instalar un horno convencional podría superar en un 85,5%, la inversión de construir una secadora solar.
- ☐ El retorno de la inversión con la construcción de una secadora solar cuando se requiere de un préstamo es de 36 meses. Desde este punto de vista, la construcción de una secadora solar se convierte en una buena opción para los pequeños y medianos productores.
- ☐ Si no se solicita el préstamo y se tiene el dinero disponible para construir, el tiempo para recuperar la inversión es de 32 meses que es el equivalente a pagar durante este mismo tiempo, el secado a \$23 100/m³ o sea \$50/pmt.
- ☐ El uso de secadoras solares de madera es una tecnología de muy bajo costo, con utilización de una energía renovable muy abundante en los países tropicales como Costa Rica, por lo que su implementación sería una alternativa de muy buena utilidad en las industrias forestales.

Bloque 5:

Defectos de secado y prevención



Defectos de secado

Defectos asociados por ataque de hongos: ocasiona manchas, pudrición y moho

Defectos asociados por acción química: ocasionan oxidaciones (cambios de color en la madera)

Defectos asociados por ataque de insectos: ocasiona agujeros, perforaciones y en algunos casos también manchas

Defectos asociados con la contracción:

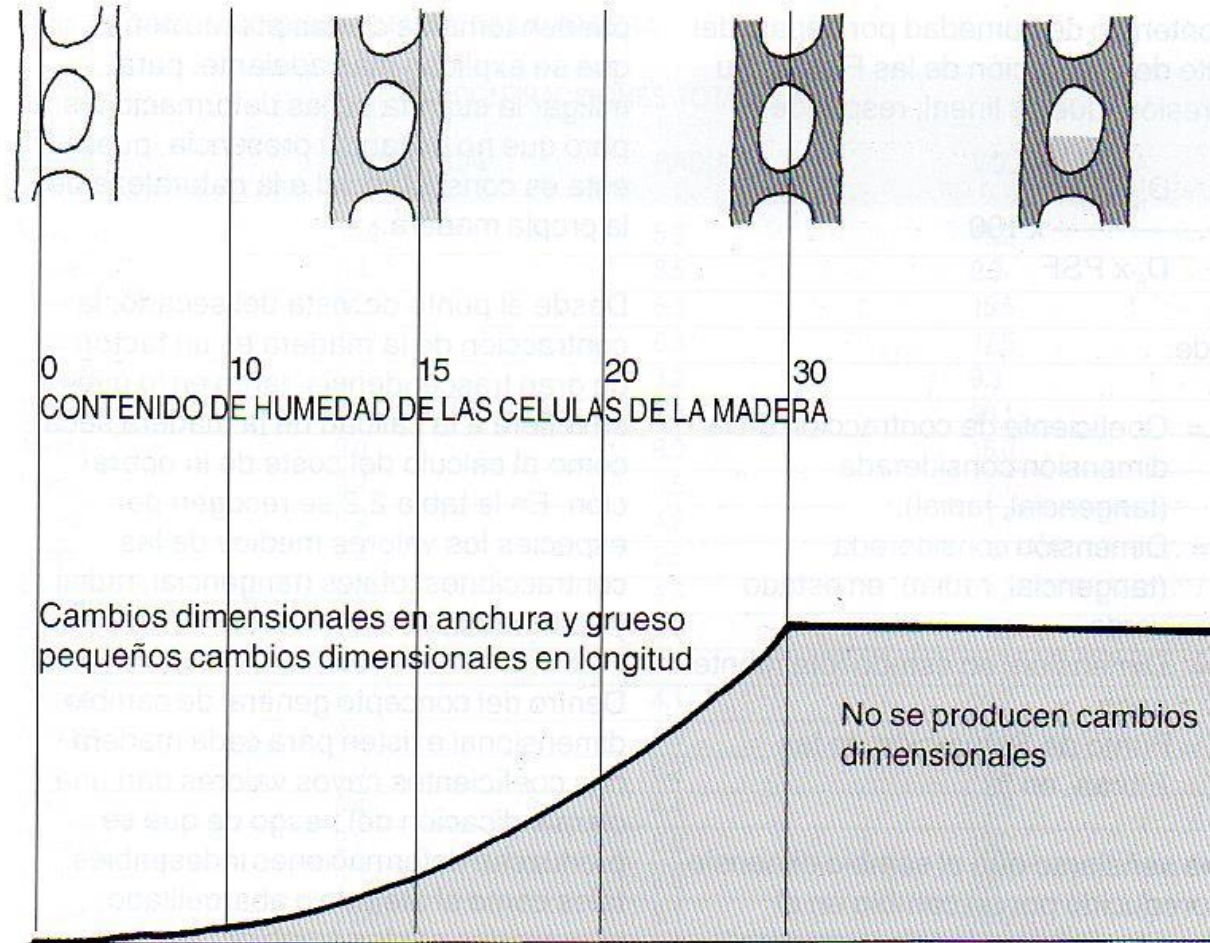
- Endurecimiento superficial
- Grietas: superficiales y/o por extremos
- Apanalamiento (grietas internas)
- Pandeos: Acanaladura, arqueadura, encorvadura, alabeo, romboidal

CAMBIOS DIMENSIONALES EN LA MADERA

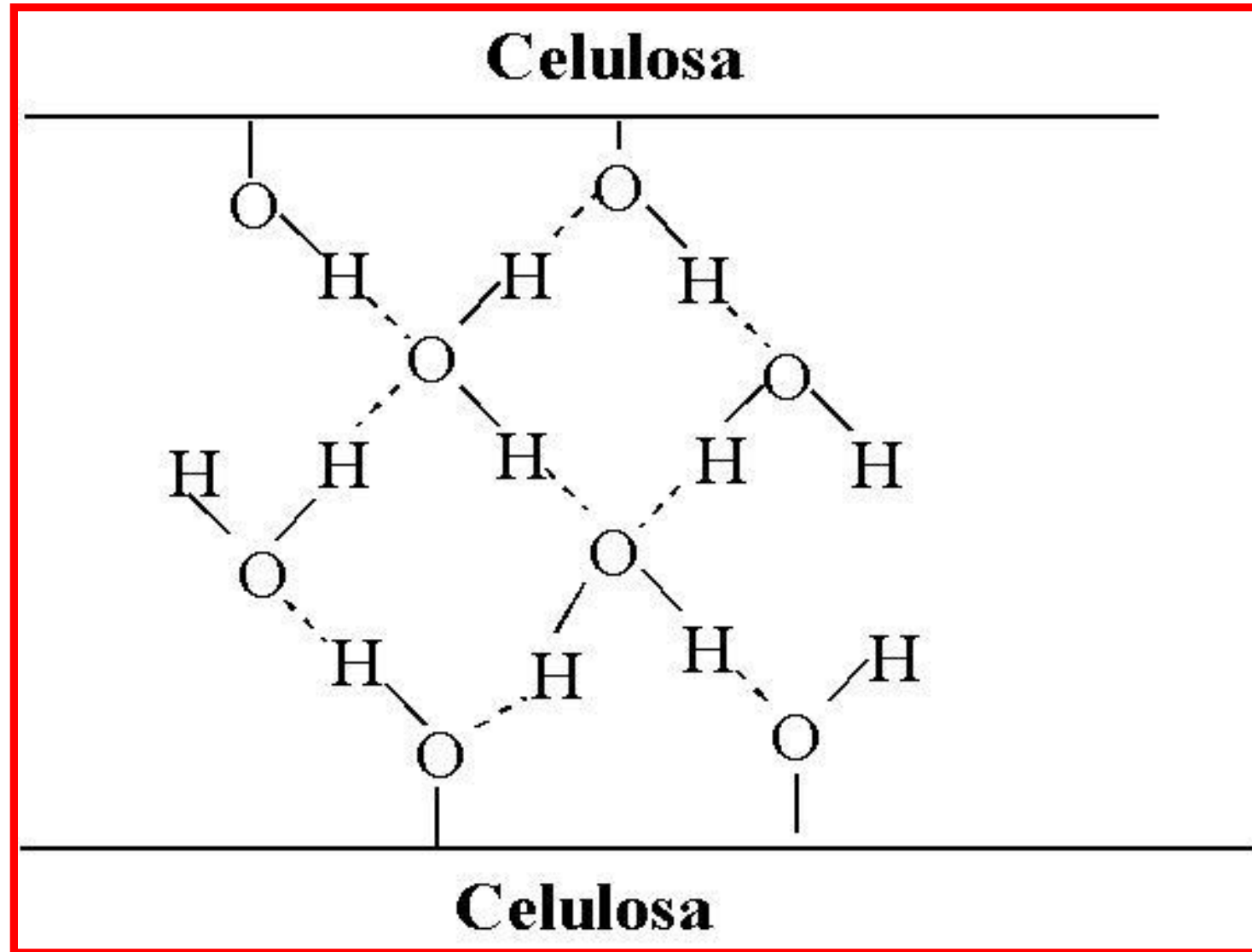
Contracciones (merma) e hinchamientos

La contracción se produce solamente cuando la madera posee un CH menor al PSF.

El hinchamiento es un fenómeno análogo a la contracción pero en forma inversa, se produce hasta que la madera alcanza el valor de CH correspondiente al PSF, aumenta su peso pero no se producen cambios dimensionales.

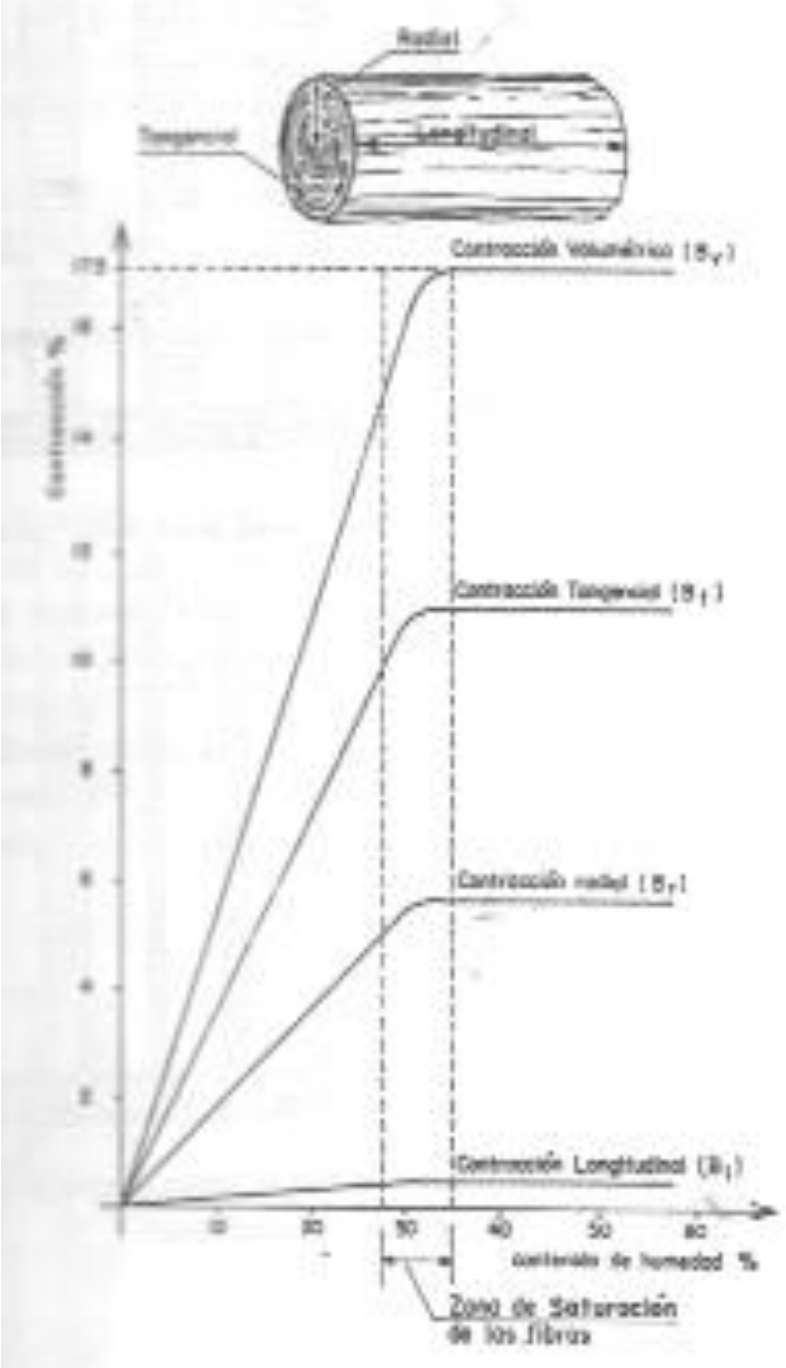
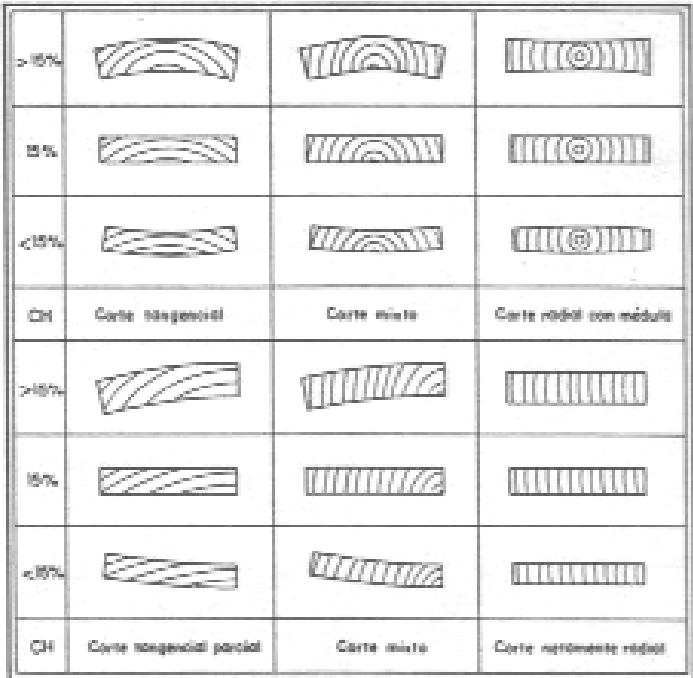
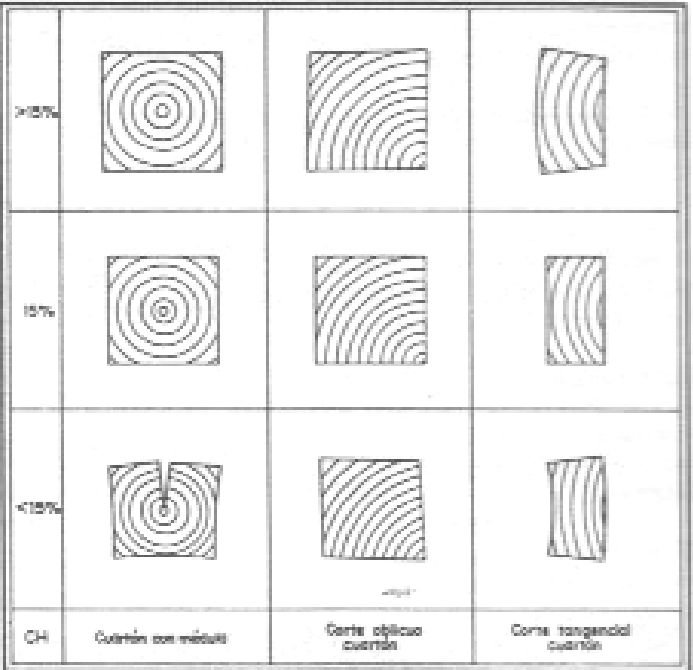


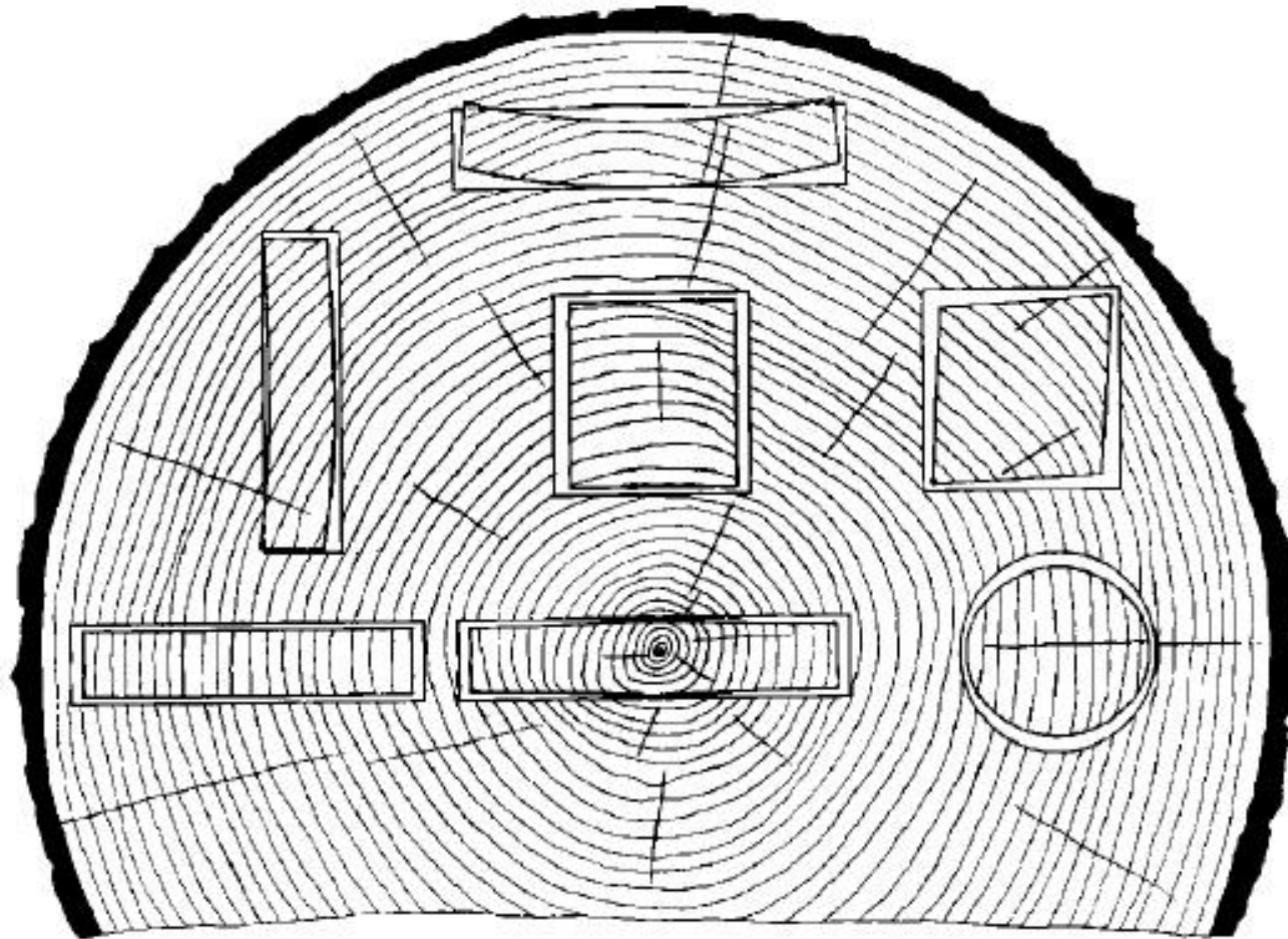
Celulosa & Agua



Cuando la madera se seca por debajo del **PSF**, la humedad es removida de la **PC** y la madera se contrae.

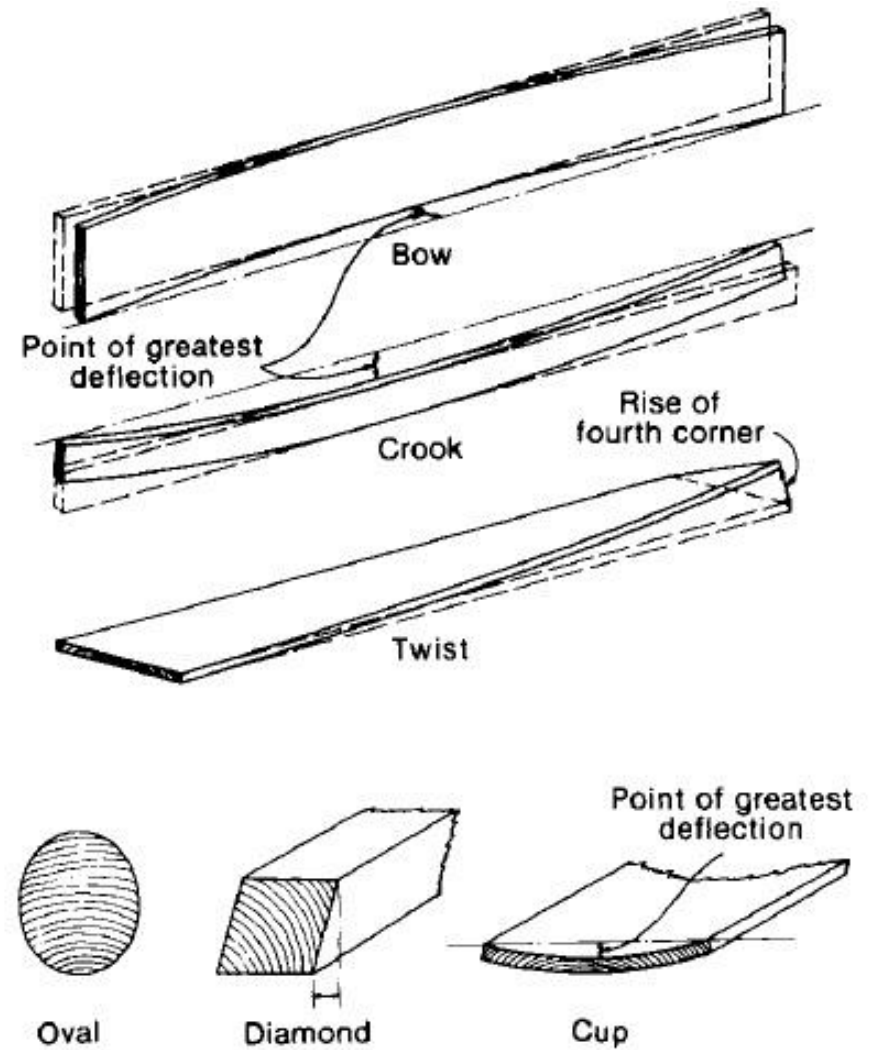
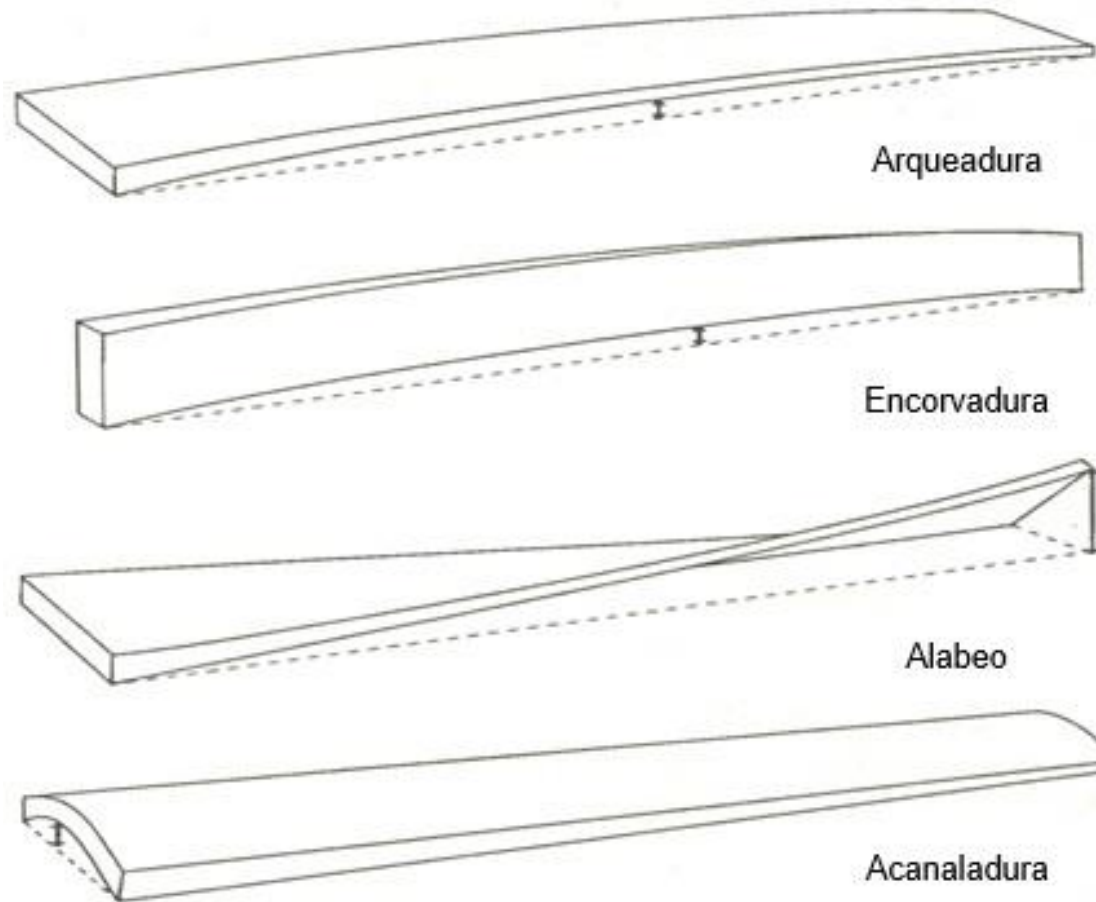
Anisotropía de la madera:
estructura anatómica, %CH, PE





Características de las contracciones y distorsiones afectadas por la dirección de los anillos anuales de crecimiento

Pandeos



Diferentes tipos de deformaciones

Torceduras o pandeos

✓ El factor causante de las torceduras por lo general es un apilado INCORRECTO. Dado que la temperatura vuelve más plástica a la madera, por lo que ésta adopta la forma que le dictan los esfuerzos aplicados a ella. La deformación adoptada es permanente. Si el espaciamiento de los separadores es demasiada la madera se flexiona.

Espesor de las tablas (mm)	Espesor de los separadores (mm)	Distancia entre separadores (mm)
menos de 20	20	300 - 400
20 - 25	25	400 - 500
40 - 50	30	500 - 600
50 - 65	35	700 - 800
65 - 80	40	900
más de 80	45	1000

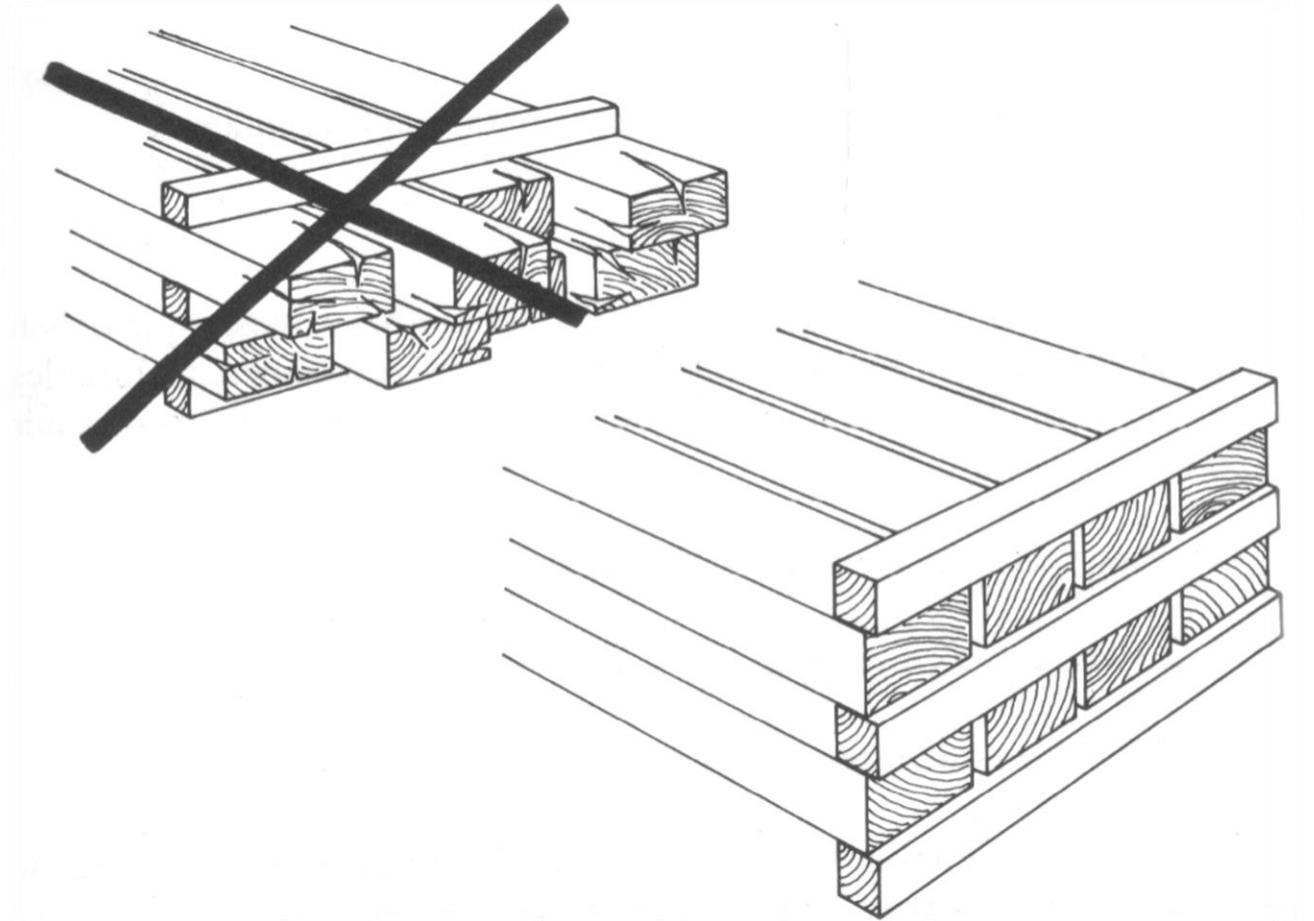


Prevención de defectos

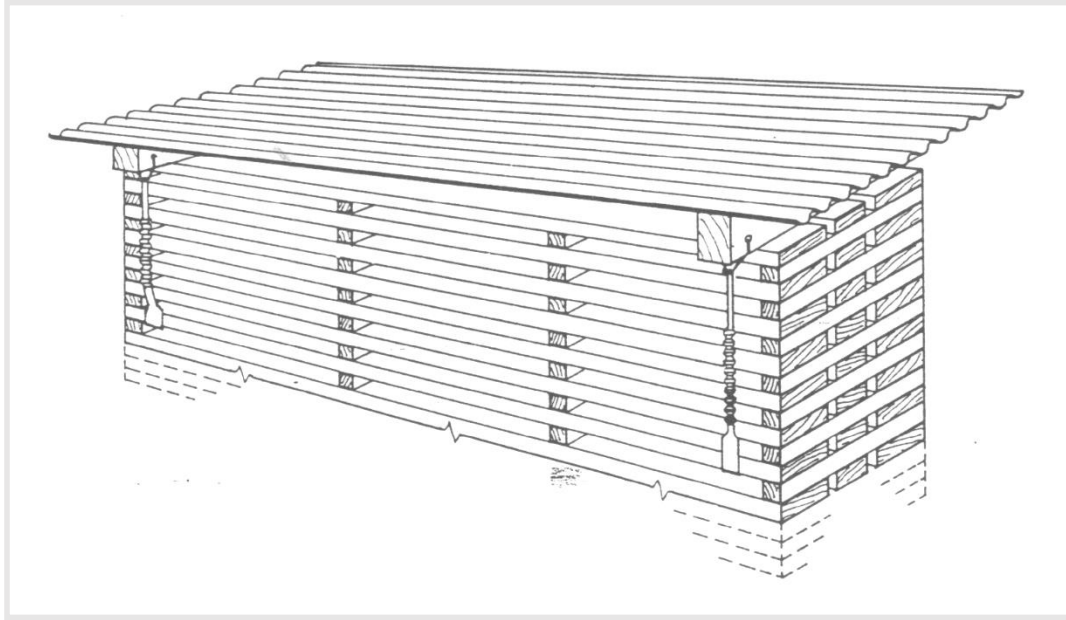
Grietas superficiales y en extremos

Algunas medidas sugeridas:

- ✓ Evitar la radiación directa del sol sobre la madera.
- ✓ Evitar la acción de las corrientes secas y fuertes sobre madera húmeda.
- ✓ Proteger los extremos de las piezas de madera (pintura aluminio ó parafina).
- ✓ Las grietas internas se pueden evitar por medio de la selección de un programa de secado adecuado.



Pandeos / torceduras: Se minimizan de una manera satisfactoria con un buen apilado de la madera a secar. También se puede aplicar un vaporizado cuando la carga a llegado al CH final, durante un tiempo prudencial y la madera pueda enderezar, la madera se debe enfriar y luego retirar los pesos.



Cubierta metálica de protección (lluvia y rayos solares) para pilas horizontales en secado al aire libre, además con pesos para minimizar pandeos



Apilado bastante correcto dentro de una cámara de secado

Técnicas de control de Secado y maderas secas.-

¿¿ Que debemos Controlar ??

- 1.- Contenido de humedad Final
- 2.- Nivel de Tensiones
- 3.- Nivel de Grietas
- 4.- % de Contracción (Variación dimensional)
- 5.- Nivel de alabeos (deformaciones)

¿¿ Que debemos tener para controlar ??

- 1.- Pie de Metro
- 2.- Huincha de Medir
- 3.- Estufa a nivel de laboratorio
- 4.- Instrumento para medir humedad.
- 5.- Balanza de precisión (0.1 gramos)
- 6.- Normas y/o acuerdos de calidad entre cliente y proveedor
- 7.- Personal capacitado.

Técnicas de control de Secado y maderas secas.-

¿¿ Como debemos cuidar la madera seca ??

1.- Un Control del contenido de humedad ya sea por pesada o por Instrumento de medición (lo más recomendable) al momento de la recepción.-

2.- Se debe guardar y/o stockear la madera en condiciones ambientales iguales a las que será puesta en servicio, es decir, cuando sea mueble, moldura, piso terraza, embalaje, etc.



Bloque 6:

Madera seca a nivel nacional

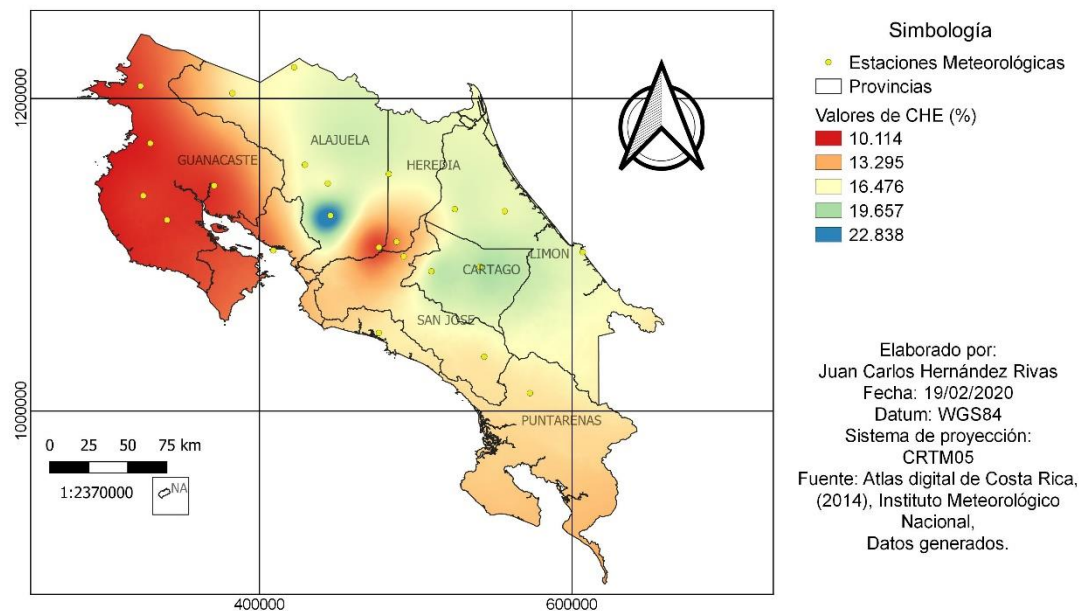


Para el caso de CR se pueden estimar los siguientes valores de CHE:

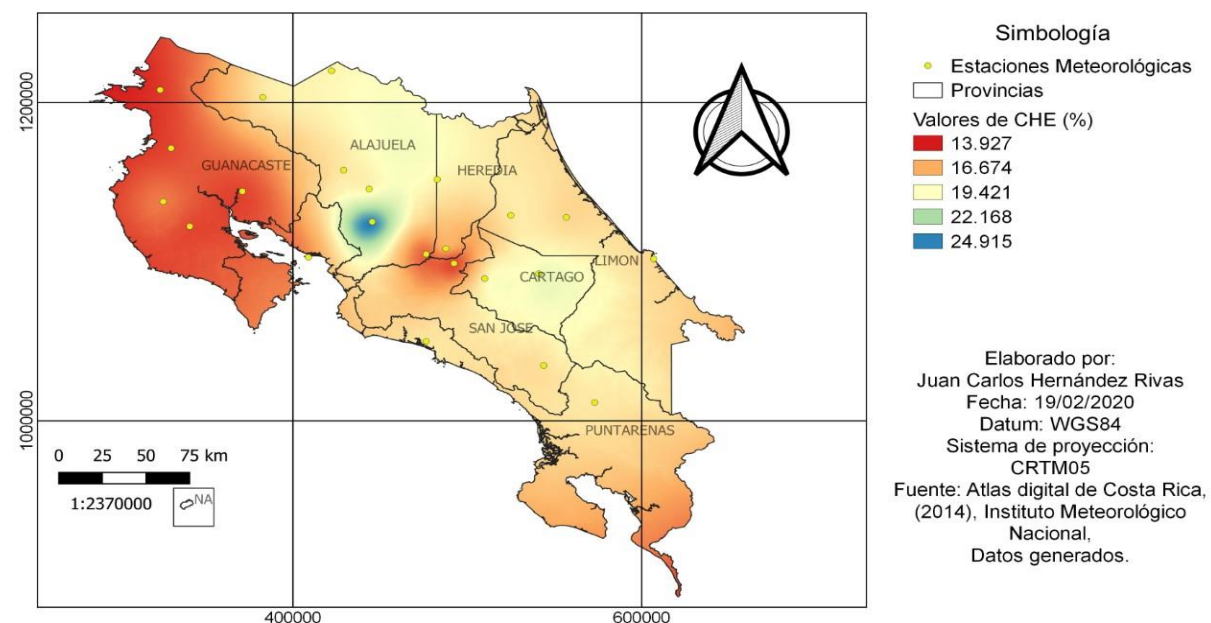
- **Zona Valle Central: 15-17%**
- **Zona Península Nicoya (Guanacaste): 10-14%**
- **Zona Atlántica (Caribe): 19-20%**

Si la madera se seca más de lo necesario el costo de secado se pierde, pues la madera tenderá a recuperar humedad hasta alcanzar el $CHE_{ambiente}$

Contenido de Humedad de Equilibrio para la estación seca en diferentes regiones de Costa Rica



Contenido de Humedad de Equilibrio para la estación lluviosa en diferentes regiones de Costa Rica



INTE C98:2015

Terminología de maderas.



Correspondencia: Esta norma equivale parcialmente a la norma AS/NZS 126 - 12 "Standard Terminology Relating to Wood and Wood-based Products". Derecho de autor: IAWT International, con domicilio en 100 Saint Martin Drive, Wood Construction, Pensilvania, 19403, EE.UU. - Se permite sin autorización de IAWT International.

Miembros de



Fecha: 2015-03-12
Segunda edición
Revisión: INTECO
Editada e impresa por INTECO
Derechos reservados
C98 76-040-02

La presente norma técnica pertenece a INTECO en virtud de los instrumentos nacionales e internacionales, y por objeto de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Bajo autorización expresa y escrita por parte de INTECO, no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún procedimiento, electrónico o mecánico, fotocopia, y microfilm inclusive, o cualquier sistema futuro para reproducir documentos. Todo infractor a las directivas de autor será denunciado ante las autoridades respectivas. Las solicitudes deben ser enviadas a la Dirección de Normalización de INTECO. Las observaciones a este documento dirigidas a: (508) 2383 4522 / info@inteco.org

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

- 1.1 Esta norma tiene por objeto establecer un sistema de clasificación para la madera aserrada de uso general, donde se define la condición de humedad y tolerancia para la madera y para los defectos, el tipo, cantidad, ubicación y magnitud.
- 1.2 Esta norma aplica para madera aserrada de uso general.
- 1.3 Esta norma no aplica para madera aserrada para uso estructural, muebles y molduras, contrachapada y laminada.

Nota. Algunos ejemplos de madera para uso general son: encofrado (formaleta), puntales, armazones o toda aquella estructura que no sea permanente.

INTE C99:2014

Madera aserrada para uso general. Requisitos.

Correspondencia: Para el desarrollo de esta norma nacional se tomó en cuenta la norma Colombiana - NTC 5305, "Madera. Clasificación de Madera Aserrada" No corresponde a ninguna norma internacional"

Miembros de



Fecha: 2014-11-18
Segunda edición
Revisión: INTECO
Editada e impresa por INTECO
Derechos reservados
C99 76-040-02

La presente norma técnica pertenece a INTECO en virtud de los instrumentos nacionales e internacionales, y por objeto de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Bajo autorización expresa y escrita por parte de INTECO, no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún procedimiento, electrónico o mecánico, fotocopia, y microfilm inclusive, o cualquier sistema futuro para reproducir documentos. Todo infractor a las directivas de autor será denunciado ante las autoridades respectivas. Las solicitudes deben ser enviadas a la Dirección de Normalización de INTECO. Las observaciones a este documento dirigidas a: (508) 2383 4522 / info@inteco.org

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

- 1.1 Esta norma tiene por objeto establecer un sistema de clasificación para la madera aserrada de uso general, donde se define la condición de humedad y tolerancia para la madera y para los defectos, el tipo, cantidad, ubicación y magnitud.
- 1.2 Esta norma aplica para madera aserrada de uso general.
- 1.3 Esta norma no aplica para madera aserrada para uso estructural, muebles y molduras, contrachapada y laminada.

Nota. Algunos ejemplos de madera para uso general son: encofrado (formaleta), puntales, armazones o toda aquella estructura que no sea permanente.

Capacidad de secado

- ❑ Al año 2007 aprox. 17 empresas cuentan con secador. La capacidad de secado ha aumentado aproximadamente 50-75 mil m³/año (17% de lo producido en aserraderos).
- ❑ 42 empresas que poseen secador de madera y todas ellas pertenecen al ramo de las industrias del embalaje (Censo Nacional MINAET-SINAC, 2011).
- ❑ Solo el 5% de la madera producida en los aserraderos tradicionales es secada, con una capacidad instalada de apenas 2500 m³ en madera aserrada/año (Serrano & Moya 2011)

Bloque 7:

Video secado de la madera

https://www.youtube.com/watch?v=_sOqTKRy9u4





Por su atención...gracias !!!



Unidad de
Vinculación
Forestal

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Forestal

Tel. (+506) 2550 2489
e-mail. unidadvf@tec.ac.cr



Ing. F. Muñoz

09 abril 2021 / Plataforma Virtual TEAMS