

**RECONeixEMENT I CLASSIFICACIÓ DE
DEFICIÈNCIES ESTRUCTURALS PROVOCADES
PER LA PRESENCIA DE L'AIGUA.**

1. Madera y Agua

- 1.- Estructura y composición de la madera*
- 2.- Relación entre agua y madera*
- 3.- Durabilidad de la madera*
- 4.- Patologías derivadas de la humedad en la madera*
- 5.- Detalles constructivos*

1.- Estructura y composición de la madera

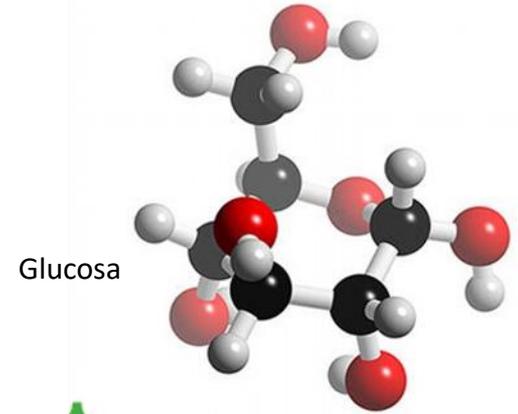
Tema 6: Madera y Agua

La madera está diseñada para sobrevivir en un ambiente húmedo (el propio árbol en pie) y, tras cumplir su ciclo vital, reciclar al medio natural sus componentes esenciales. Su estructura está constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina que son los principales componentes de la pared celular.

Para obtener su energía vital, por el árbol circula una mezcla de agua y sales minerales, desde las raíces hasta las hojas donde es transformada en un carbohidrato (glucosa) a través de la fotosíntesis. Estas funciones se realizan en la albura, la porción situada en la parte más externa del tronco, formada por células vivas con una misión básicamente conductora y donde el árbol almacena las sustancias de reserva.

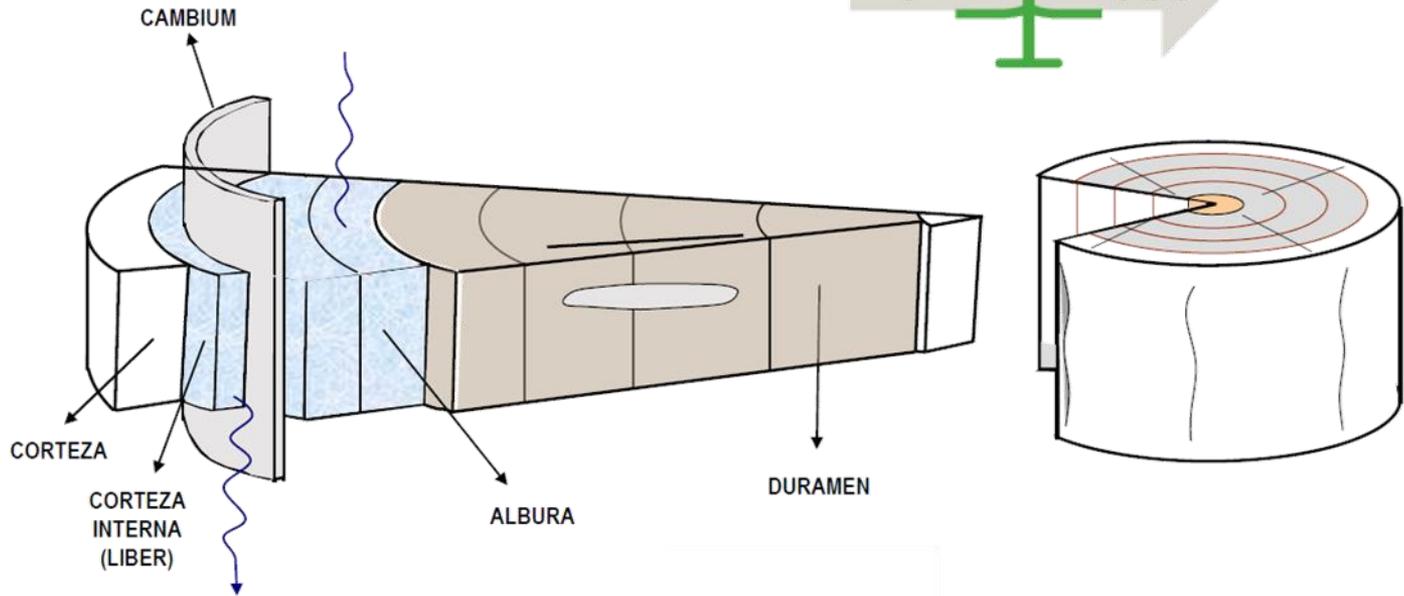
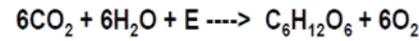
Durante el proceso de duraminización se forman sustancias como los extractos que, a menudo, incorporan elementos fungicidas e insecticidas. Asimismo, las sustancias de reserva desaparecen y el contenido de humedad se reduce al disminuir la capacidad conductora de las células, tanto en su sentido transversal como longitudinal.

Tema 6: Madera y Agua

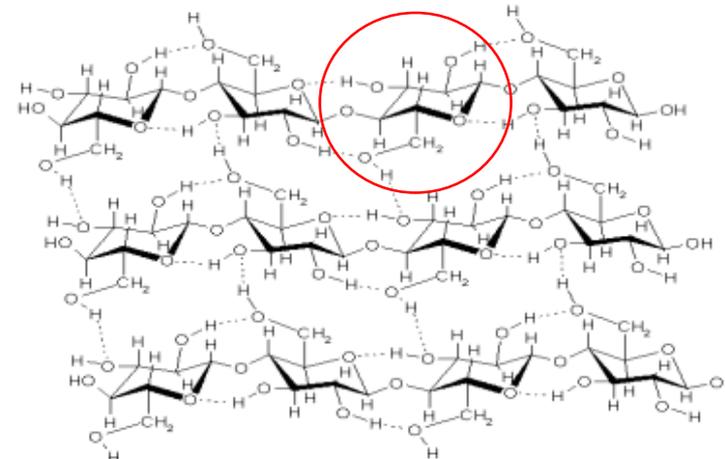
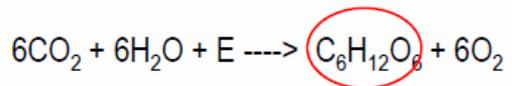
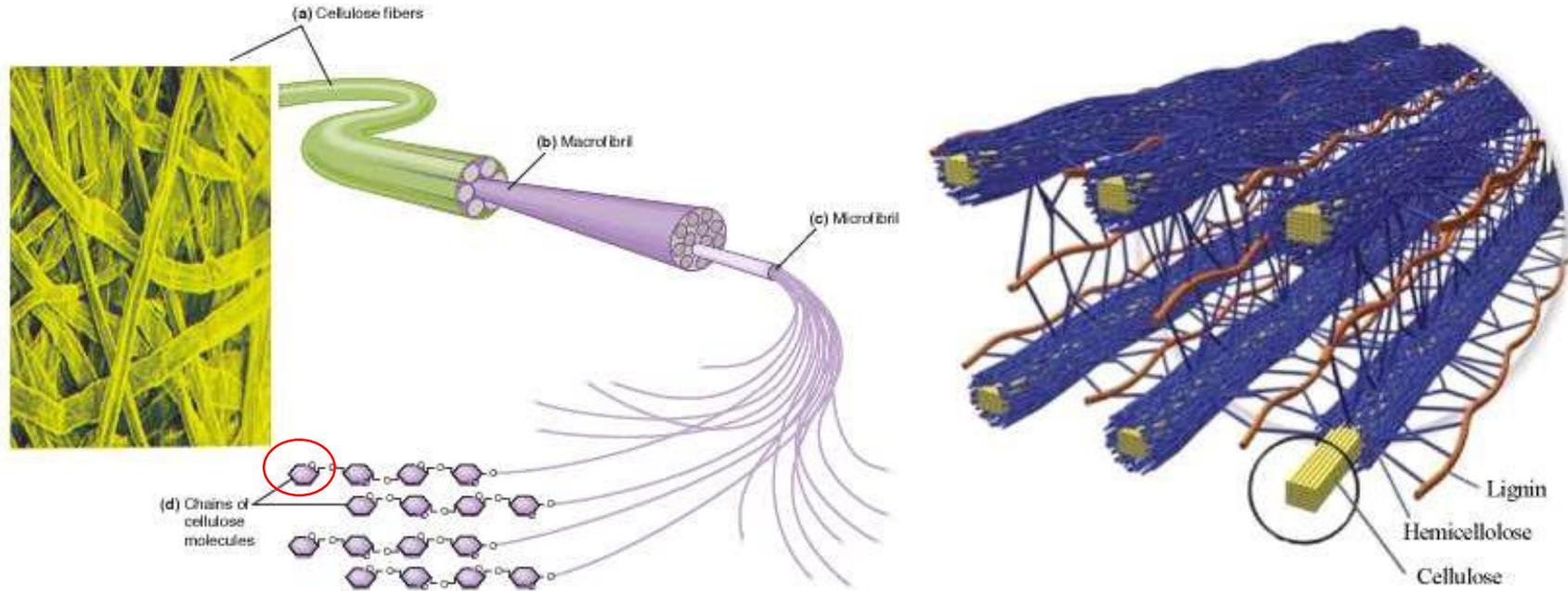


ORGANIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN ÁRBOL : ALBURA Y DURAMEN

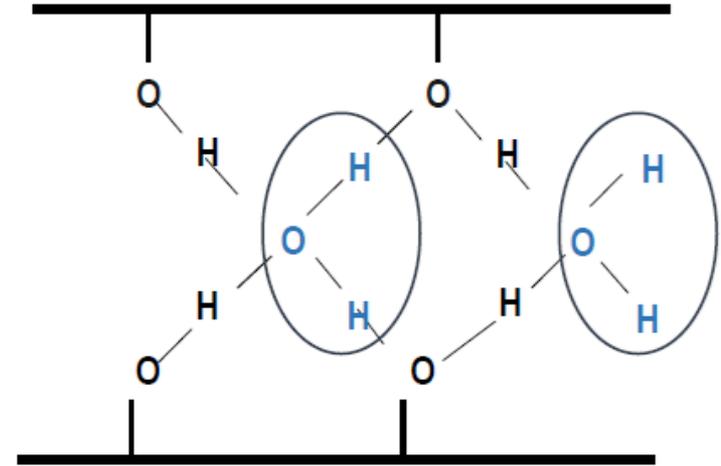
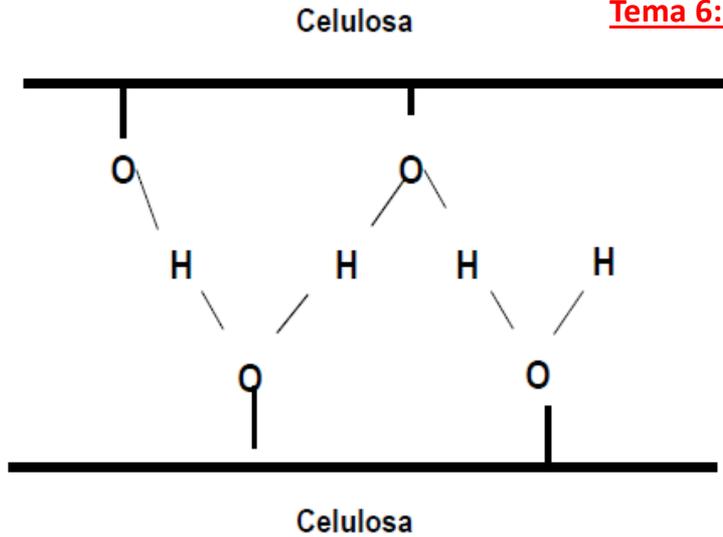
Fotosíntesis:



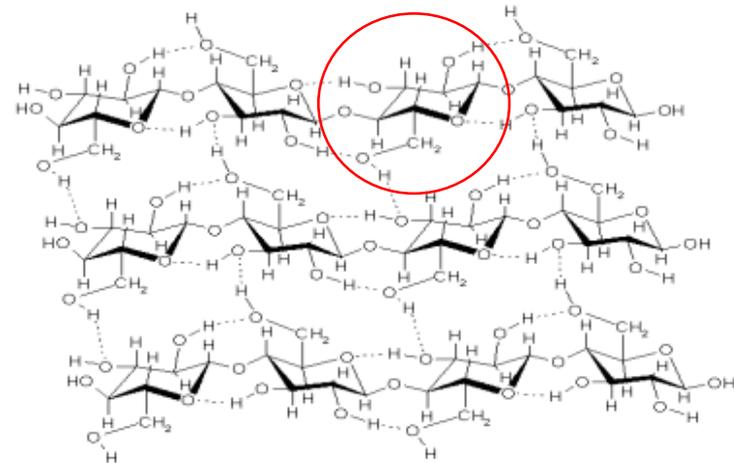
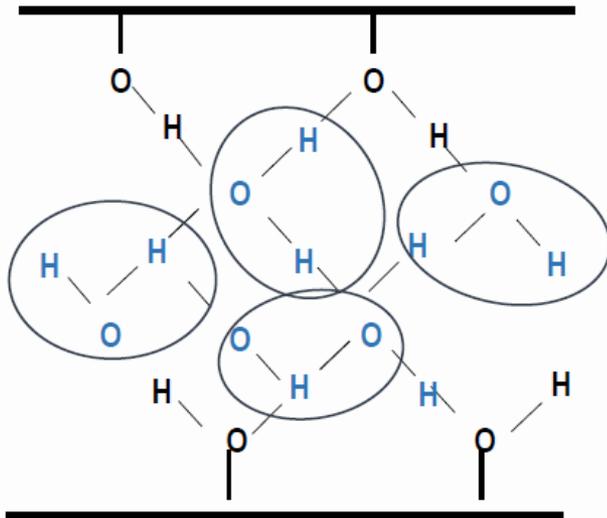
Tema 6: Madera y Agua



Tema 6: Madera y Agua

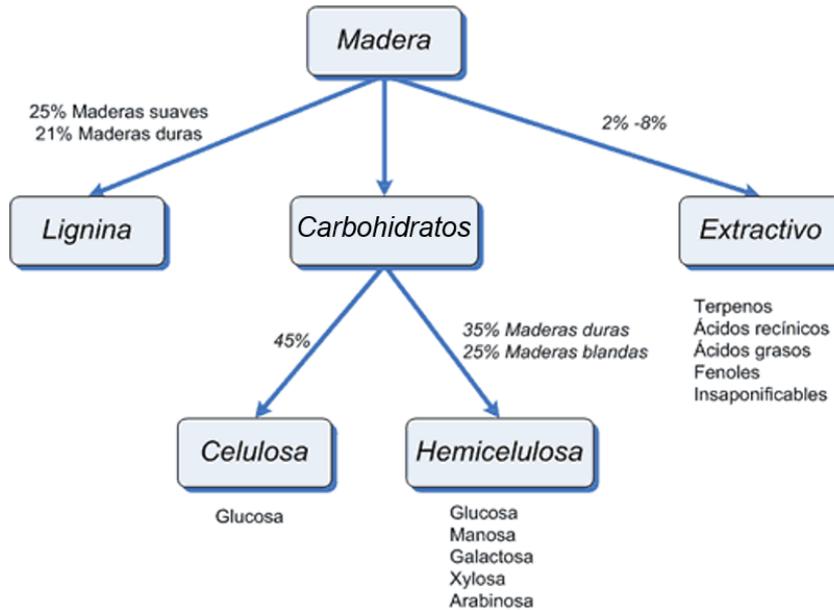


Celulosa: Polisacàrido formado exclusivamente por molècules de glucosa



Tema 6: Madera y Agua

Composición química de la madera



COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS CONSTITUYENTES DE LA PARED CELULAR

El análisis de los distintos componentes será el siguiente:

CELULOSA

La celulosa es el principal componente estructural de la madera. Sería el equivalente a las armaduras en el hormigón armado.

La celulosa es un polímero lineal, cuya fórmula es $(C_6 H_{10} O_5)_n$ siendo el valor de n varios miles de unidades.

HEMICELULOSA

Se considera a la hemicelulosa como el agente cementante que mantiene aglomeradas las microfibrillas y evita fisuras cuando las fibras de la madera son sometidas a esfuerzos de torsión, flexión o compresión que actúan sobre ellas.

La hemicelulosa, también un polímero, cuyas fórmulas $(C_5 H_8 O_4)_n$ y $(C_6 H_8 O_4)_n$ siendo el valor de n de centenares de unidades. Su grado de polimerización es menor que el de la celulosa.

LIGNINA.

Podríamos decir que la lignina actúa como impermeabilizante de las cadenas de celulosa (muy hidrófilas) y como aglomerante de las *estructuras fibrilares de las células*.

Tema 6: Madera y Agua A

Estructura microscópica de la madera

-Coníferas:

-90% traqueidas: función conductora y de sostén.

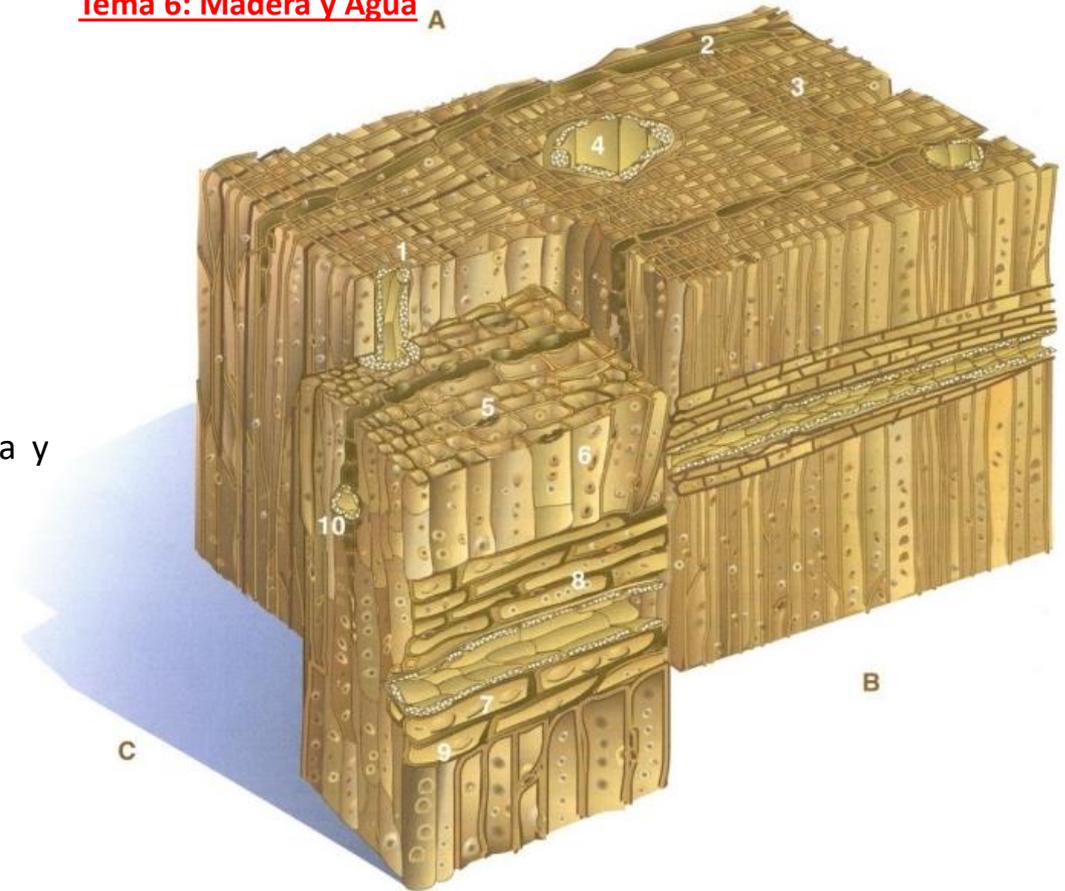


Figura 2.2.
Estructura microscópica de las maderas coníferas
Sección A. Transversal. 1. Canal resinífero longitudinal, 2. Radio leñosos, 3. Traqueidas longitudinales, 4. Células epiteliales resinógenas, 5. Sección de punteadura areolada
Sección B. Radial. 6. Punteaduras areoladas en traqueidas longitudinales, 7. Punteaduras tipo ventana en los campos de cruce, 8. Traqueidas radiales, 9. Células de parénquima radial
Sección C. Tangencial. 10. Canal resinífero transversal

Fuente: La madera y su anatomía
Luis García Esteban et al. - AITIM

Tema 6: Madera y Agua

Estructura microscópica de la madera

-Fronosas:

- Células más especializadas.
- Estructura más compleja
- Traqueidas: función de sostén
- Vasos: función conductora

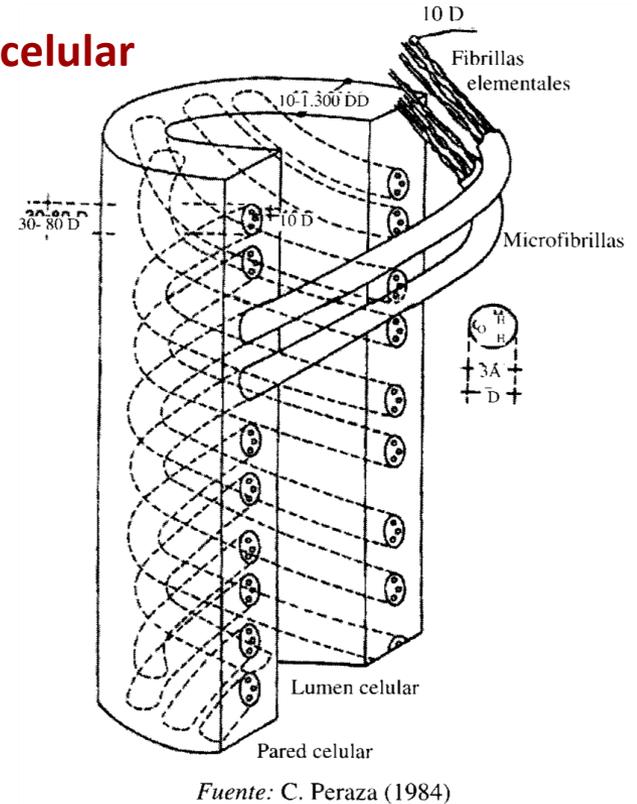
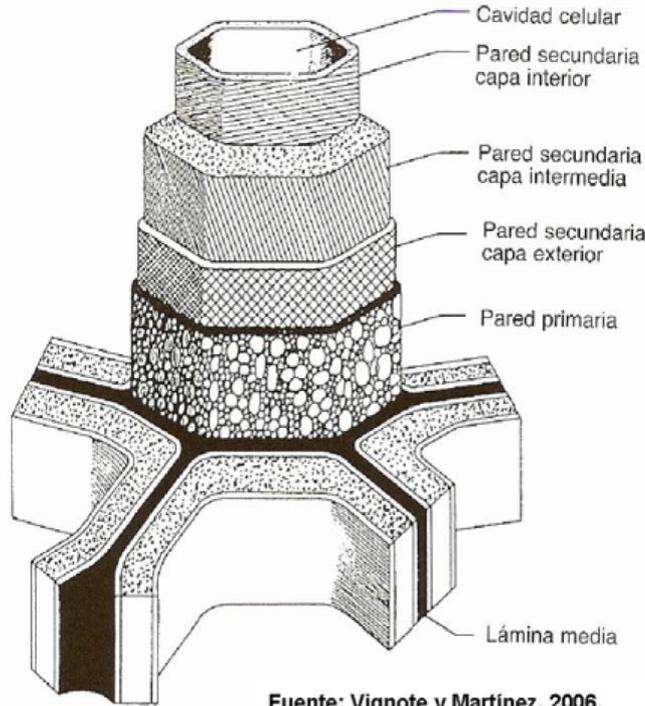


Figura 3.1 Estructura microscópica de madera de frondosas
Sección A. Transversal. 1. Vaso, 2. Parénquima longitudinal, 3. Radio leñoso
Sección B. Radial. 4. Elemento vasal, 5. Parénquima longitudinal, 6. Células erectas, 7. Células procumbentes,
8. Radio leñoso heterogéneo, 9. Fibrotraqueidas
Sección C. Tangencial. 10. Radio leñoso multiseriado, 11. Fibrotraqueidas

Fuente: La madera y su anatomía
Luis García Esteban et al. - AITIM

Tema 6: Madera y Agua

Estructura ultramicroscòpica de la madera: la pared cel·lular



-Tubos de cadenas de celulosa dispuestos según el eje del árbol ligados entre sí mediante lignina:

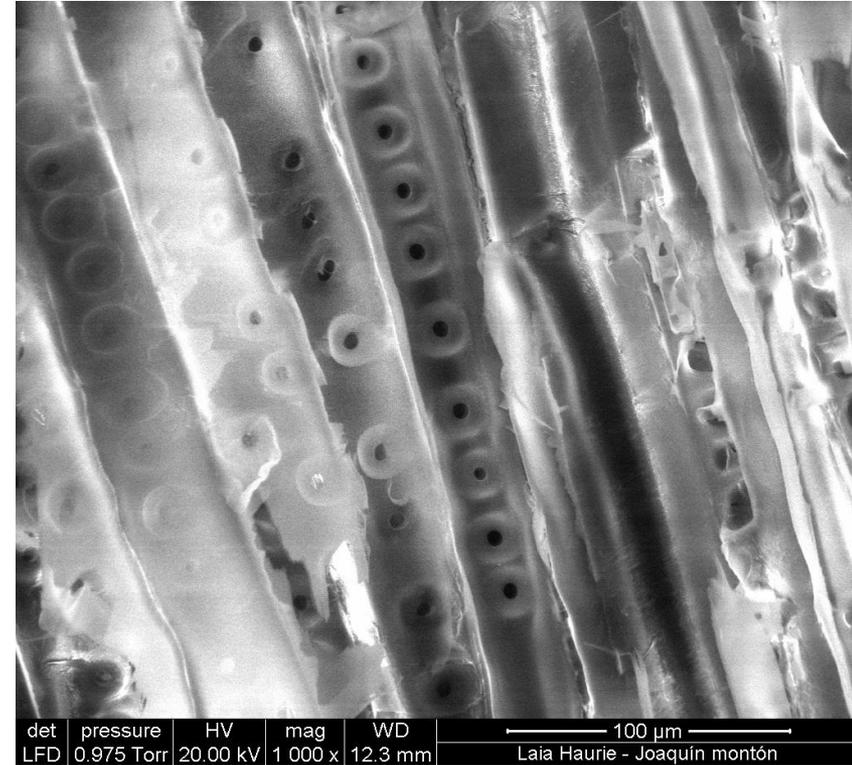
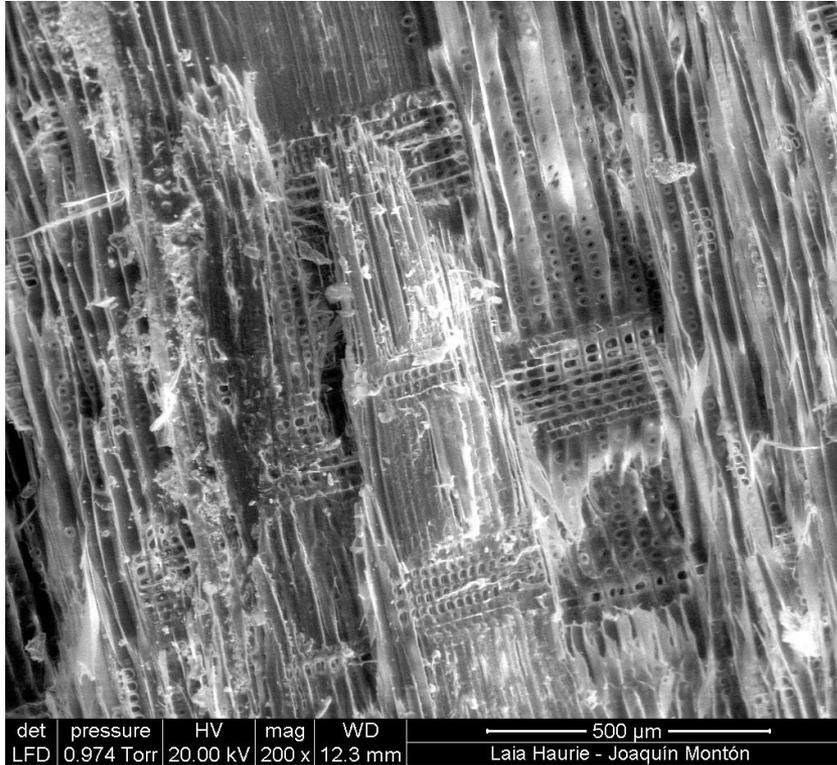
-Lámina media: lignina+hemicelulosa. Elemento de cohesión entre células para formar tejidos.

-Pared primaria: microfibrillas incrustadas en un fondo de lignina.

-Pared secundaria: microfibrillas incrustadas en pequeñas proporciones de lignina donde se distinguen tres capas que contienen microfibrillas con distintas orientaciones.

Tema 6: Madera y Agua

Estructura ultramicroscòpica de la madera: la pared celular

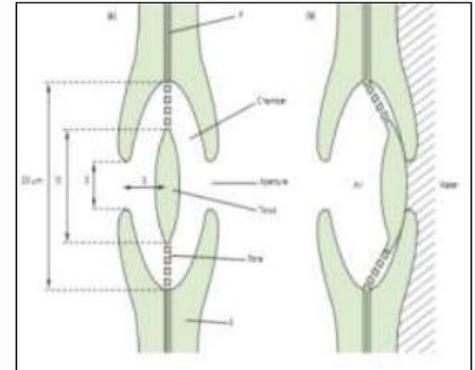
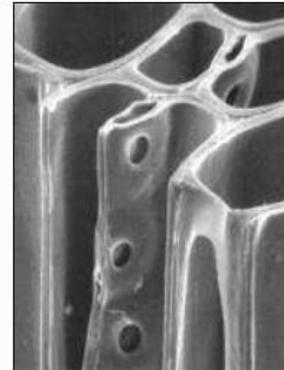
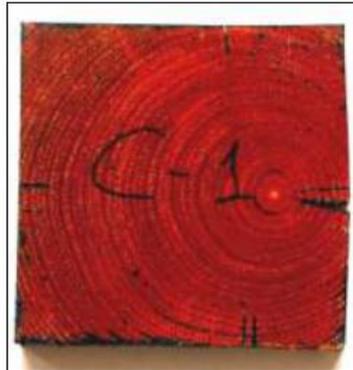


Células en un espécimen de coníferas – Joaquim Montón – Laboratorio materiales UPC

Tema 6: Madera y Agua

ESPECIES DE DIFICIL TRATAMIENTO (*Picea abies*)

Especie	Durabilidad natural			Impregnabilidad Tipo de albura
	Hongos	Insectos xilófagos	Termitas	
<i>Picea abies</i>	PD	SH (A, C)	S	3 / 3-4 Dif (variable)



Algunas especies de coníferas frecuentemente utilizadas en construcción como la píceo o abeto rojo (*Picea abies*) y, en menor medida, el abeto blanco (*Abies alba*), son difícilmente impregnables (salvo con procedimientos especiales). El fabricante garantizará que se alcanza la protección especificada para su clase de uso.

Las maderas no durables naturalmente empleadas en clases de uso 3.2, 4 y 5 deberán ser maderas impregnables (clase 1 de la norma UNE-EN 350-2).

2.- Relación entre agua y madera

Tema 2: Madera y Agua

- Incluso después de muchos años después de talar los arboles, la madera mantiene su higroscopicidad y continua intercambiando la humedad con la atmosfera que la rodea, variando sus dimensiones y muchas de sus características fisico-mecánicas en función de su contenido de humedad. Por esta razón, la durabilidad de la madera esta vinculada con los ciclos de condensación y evaporación a la que esta sometida.
- **En un edificio la formación de la condensación se debe principalmente a la producción de la humedad interna de las actividades diarias del hombre relacionadas con la higiene personal, de limpieza y de alimentación, así como las diferencias en la presión y la temperatura entre el exterior y el interior que implican el cambio de estado del vapor de agua.** En el caso de edificios de madera la presencia de humedad intersticial y el consiguiente desarrollo de hongos y de moho es, sin duda, la peor amenaza posible porque se desencadena un proceso de descomposición con una perdida irreversible de las propiedades mecánicas.

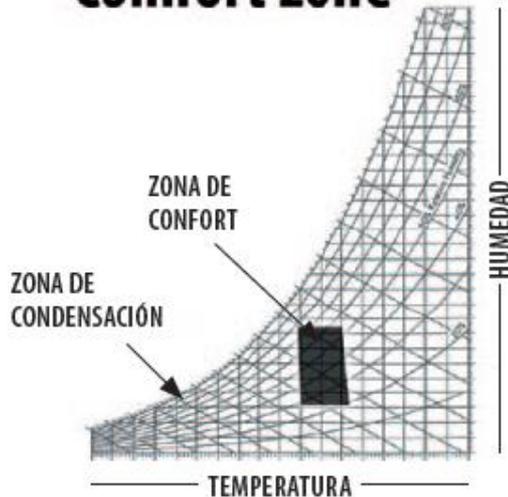
CANTIDAD DE VAPOR DE AGUA PRODUCIDO

Origen del vapor de agua (casa normal/día)	Agua generada aproximadamente (en litros/día)
4/5 personas mientras duermen	1,5
2 personas en actividad	1,6
Lavado y secado de ropa	5,5
Cocinar los alimentos	3,0
Ducha	0,5

AGUA CONTENIDA EN 1 m³ DE AIRE SATURADO

Temperat. [°C]	-10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
Peso Agua [g]	2.2	4.9	9.5	18	32	55	94	160	283

Comfort zone



Tema 6: Madera y Agua

Además de **calor**, el **aire** es el vehículo para la humedad.

La cantidad de humedad contenida en el aire depende de la temperatura: **cuanto mayor sea la temperatura, mayor es la cantidad que puede contener el aire**. Para cada temperatura existe un limite, mas allá del cual el vapor se condensa convirtiéndose en condensación (aire saturado). Este limite se identifica como el “**punto de rocío**”, mas bien la temperatura a la cual el vapor de agua pasa al estado liquido. El vapor de agua se condensa sobre una superficie solo si esta esta mas fría que el punto de rocío, o cuando el equilibrio del vapor de agua en el aire se ha superado y ha alcanzado el valor de saturación.

El vapor de agua, como el calor, tiende a atravesar las capas de los materiales de construcción de acuerdo a un proceso natural de “difusión” causado por una diferencia en la presión de vapor entre los ambientes internos y externos.

Tema 6: Madera y Agua

Anisotropía de la madera

-Las propiedades físicas y las características mecánicas de la madera dependen de la dirección del esfuerzo respecto a la dirección de las fibras.

-Se consideran tres direcciones principales:

- Axial: paralela al eje de crecimiento del árbol
- Radial: perpendicular a la axial, y cortando al eje del árbol
- Tangencial: perpendicular a la dirección axial y a la radial.

-Para definir las propiedades de la madera, distinguiremos dos direcciones principales:

- Paralela a la fibra
- Perpendicular a la fibra

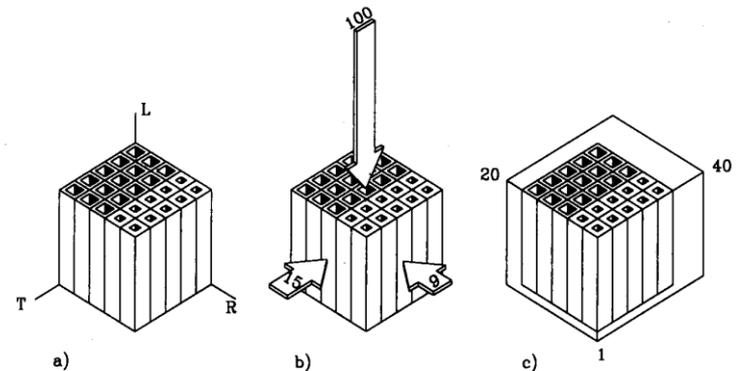
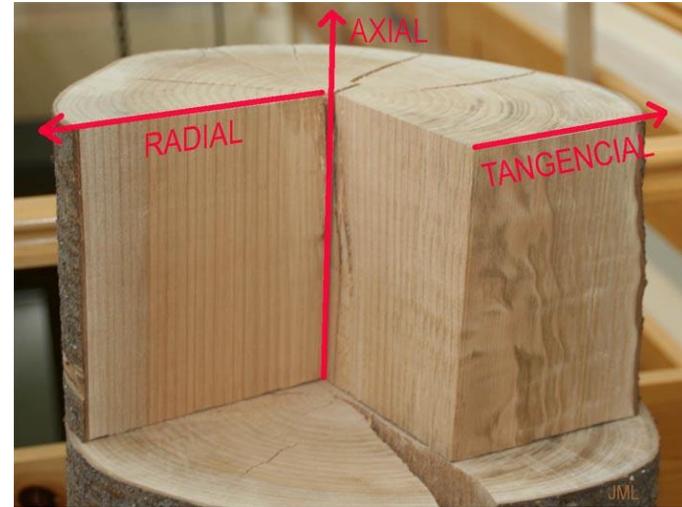


Figura 1.5. Anisotropía de la madera.

a) Direcciones principales, b) Resistencia relativa a compresión, c) Hinchazón y merma relativa.

Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera. Relaciones agua - madera

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

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

El agua en la madera, puede estar presente de tres formas diferentes:

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

El agua libre, una vez perdida por la madera, ya no puede ser recuperada a partir de la humedad atmosférica. Para recuperarla, habrá de ser por inmersión directa en el agua. El agua libre no tiene mas repercusión que la ocupación física de los huecos, y por consiguiente no influye en la hinchazón o merma de la madera ni en las propiedades mecánicas.

Las dos últimas, impregnación y libre son las que constituyen la humedad de la madera. La humedad es la cantidad de agua que contiene la madera expresada en % de su peso en estado anhidro o húmedo.

Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera. Relaciones agua - madera

CONTENIDO DE HUMEDAD.

Definimos como contenido de humedad o simplemente humedad de la madera **h** a la relación del peso del agua contenida en la madera, al peso de la madera anhidra y se calcula de la siguiente forma:

$$h = \frac{P_h - P_0}{P_0} \times 100$$

h : humedad %

P_h : peso húmedo

P₀ : peso seco

- en la que **Ph** representa el peso de la madera que estamos estudiando, **Po** el peso de la madera anhidra y se multiplica por 100 para así obtener el % de contenido de humedad de la madera referida al peso seco

La humedad no es constante en todo el espesor de la pieza, siendo menor en el interior y teniendo más humedad la albura que el duramen.

La madera contiene más agua en verano que en invierno. Es un material higroscópico, lo cual significa que absorbe o desprende agua en función del ambiente que le rodea.

Expuesta al aire pierde agua y acaba estabilizándose a una humedad que depende de las condiciones del ambiente: temperatura y humedad.

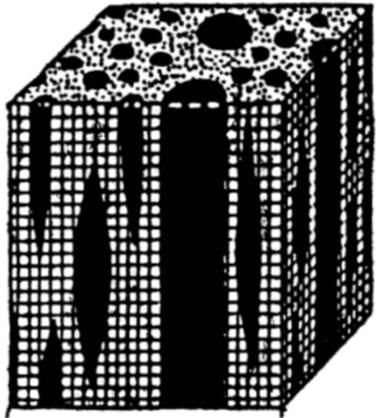
Si estas condiciones varían, también variará su contenido de humedad. La humedad de la madera tiende a estar en equilibrio con el estado del aire ambiente. Este equilibrio no es el mismo si la madera está secándose, que si está absorbiendo agua.

El primer tipo de agua que elimina la madera es el agua libre; esta pérdida se hace prácticamente sin variación de las características físicas - mecánicas (varia su densidad aparente.)

Desaparecida el agua libre, queda el agua de impregnación de la pared celular (satura las fibras de la madera) y que al disminuir por medio de la evaporación o secado modifica las propiedades físico - mecánicas (su dureza y la mayoría de las resistencias mecánicas aumentan) y el volumen de la pieza de madera disminuye como consecuencia de la disminución de volumen de las paredes de cada una de sus células.

Tema 6: Madera y Agua

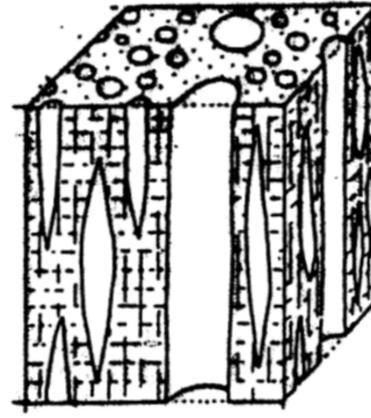
Proceso de secado de la madera



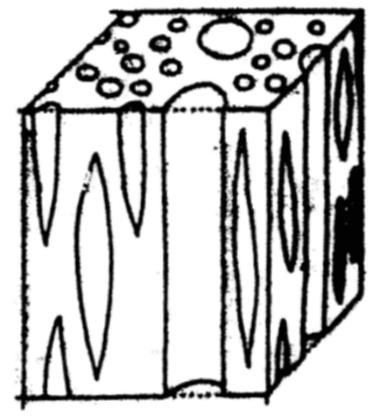
AGUA DE SATURACIÓN + AGUA LIBRE



AGUA DE SATURACIÓN



AGUA DE SATURACIÓN



MADERA SECA

Pérdida de agua

Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera. Relaciones agua - madera

La humedad de la madera depende, ahora, de las condiciones higrotérmicas del ambiente. A cada par de valores de temperatura y humedad relativa del aire corresponde, en la madera, una humedad comprendida entre el 0% y el 30% (punto de saturación de las fibras, aproximadamente), que recibe el nombre de "**Humedad de equilibrio higroscópico**". Este "**Punto de saturación de las fibras (P.S.F.)**" o más exactamente **Punto de saturación de la pared celular**, nos indica **la máxima humedad que puede contener una madera sin que exista agua libre**.

Una vez que haya descendido de este punto, la madera no volverá a tomar agua libre si no es por inmersión.

Este P.S.F. es de gran importancia, ya que supone una frontera a las variaciones dimensionales, variación de resistencias, etc. Su valor es del orden del 30%, pudiendo sufrir pequeñas variaciones de unas especies a otras.

Las maderas con P.S.F. bajo, tienen estabilizadas sus características mecánicas cuando son empleadas en atmósferas húmedas. Por el contrario si dichas maderas se emplean en atmósferas de humedad baja, se deformarán cuando varíe dicha humedad. (Maderas nerviosas).

Las maderas de P.S.F. altos son, en general, utilizadas en un medio con un % de humedad muy inferior a la que corresponde al P.S.F., excepto en el caso en que se encuentren sumergidas. Se moverán siempre bajo la influencia de las variaciones de humedad pero son, en general, poco nerviosas.

Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera. Relaciones agua - madera

Cuadro de estado de la madera según el % de humedad.

- Madera empapada:
Hasta un 150% de humedad aproximadamente (sumergida en agua)
- Madera verde:
Hasta un 70% de humedad (madera en pie o cortada en monte)
- Madera saturada:
30% de humedad (sin agua libre, coincide con P.S.F.)
- Madera semi-seca:
del 30% al 23% de humedad (madera aserrada)
- Madera comercialmente seca:
del 23% al 18% (durante su estancia en el aire)
- Madera secada al aire:
del 18% al 13% (al abrigo de la lluvia)
- Madera desecada (muy seca):
menos del 13% (secado natural o en clima seco)
- Madera anhidra:
0% (en estufa a 103° C. Estado inestable)

- Humedad normal para ensayos: Las humedades de la madera para la realización de ensayos han sido el 12 y el 15% según países y normas. Actualmente tiende a usarse la humedad de equilibrio que se obtiene a una temperatura de 20°C. y con una humedad relativa del 65%, lo que nos da una humedad en la madera de aproximadamente del 12%.

Para las obras, la guía de humedad que debe de tener la madera según la naturaleza de la obra, es la siguiente:

- Obras hidráulicas: 30% de humedad (contacto en agua)
- Túneles y galerías: de un 25% a un 30% de humedad (medios muy húmedos)
- Andamios, encofrados y cimbras: 18% al 25% de humedad (expuestos a la humedad)
- En obras cubiertas abiertas: 16% a 20% de humedad.
- En obras cubiertas cerradas: 13% a 17% de humedad.
- En locales cerrados y calentados: 12% al 14% de humedad
- En locales con calefacción continua: 10% al 12% de humedad.

Tema 6: Madera y Agua

Aparatos de medida de humedad



Tema 6: Madera y Agua

Aparatos de medida de humedad



Tema 6: Madera y Agua

Humedad de equilibrio higroscópico de la madera

- Condiciones de ensayo de las propiedades mecánicas de la madera:
- **20°C** de temperatura y **65%** de Humedad relativa del aire
- Humedad equilibrio higroscópico de la madera : **12%**

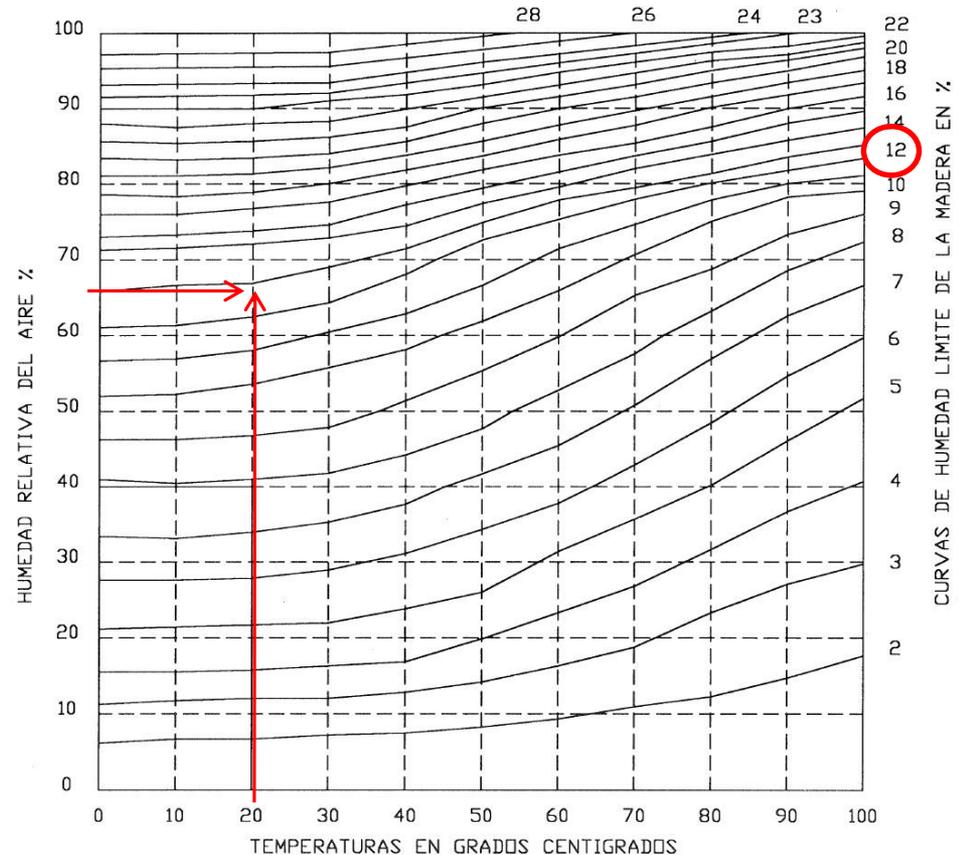


Figura 2.1. Curvas de equilibrio higroscópico de la madera.

Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera: hinchazón y merma

•Variaciones dimensionales según la dirección que se considere:

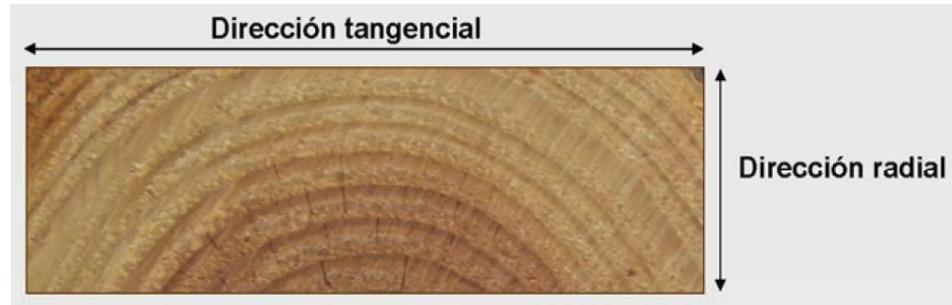
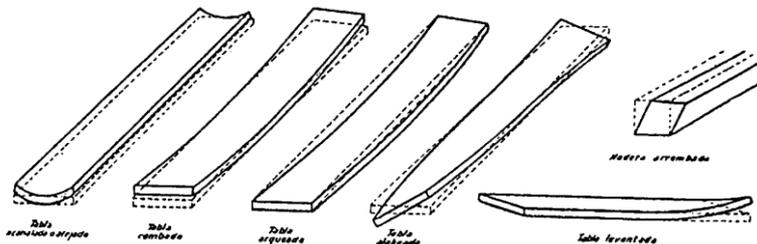
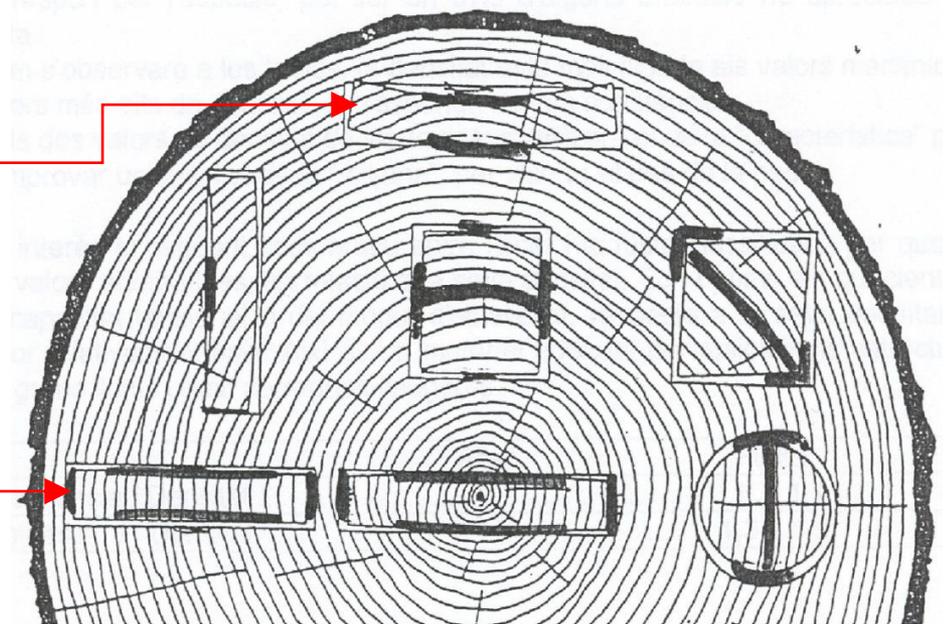
•Corte tangencial: mayor alabeo

•Mayor variación dimensional: dirección tangencial

•Corte radial: menor alabeo

•Maderas nerviosas: diferencias acusadas entre coeficientes de contracción tangencial y radial, mayor tendencia al alabeo durante el secado.

•Maderas nobles: diferencias pequeñas entre coeficientes de contracción tangencial y radial, menor tendencia al alabeo durante el secado.



Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera: hinchazón y merma

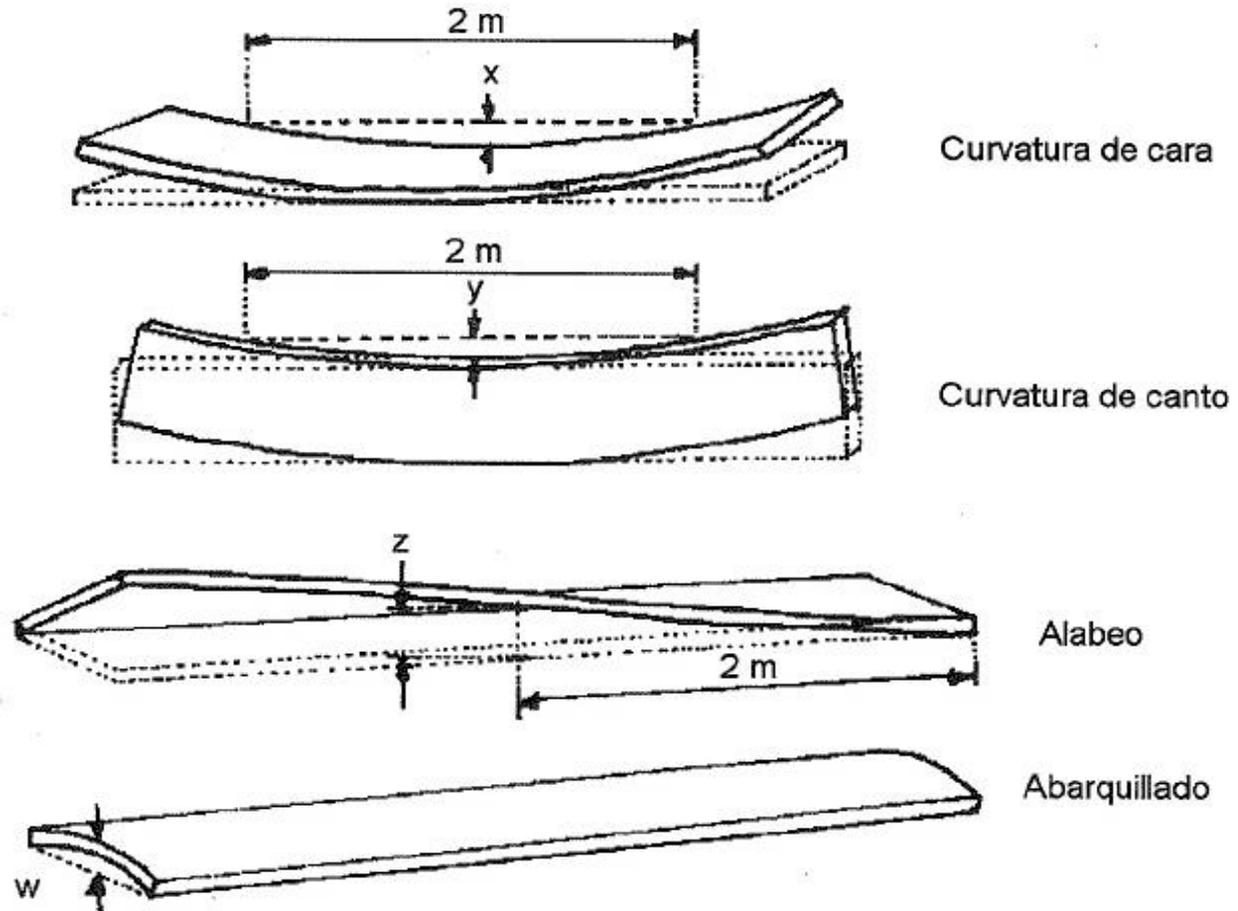


Figura 10 – Medición de las deformaciones

Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera: hinchazón y merma



Tema 6: Madera y Agua

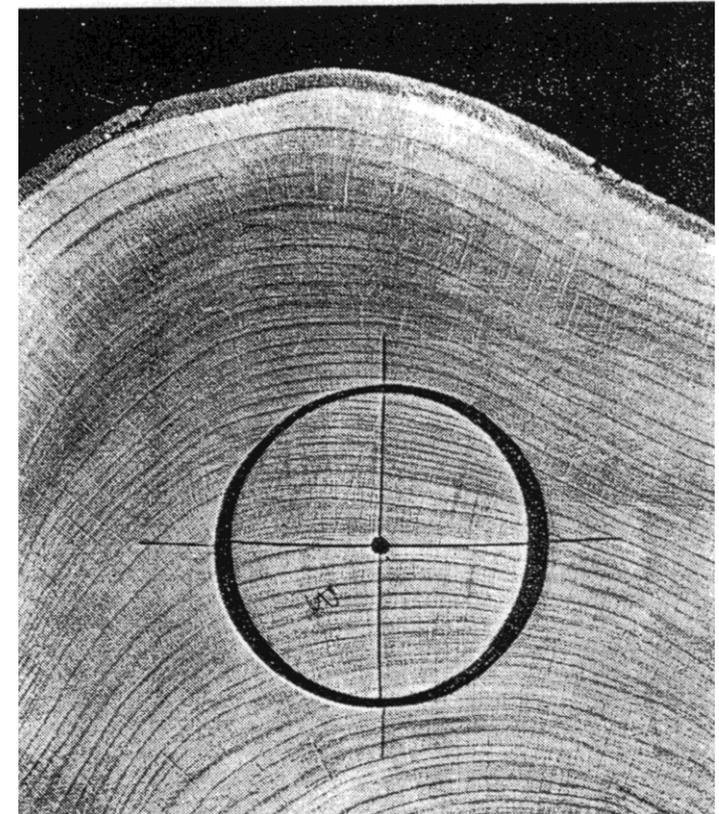
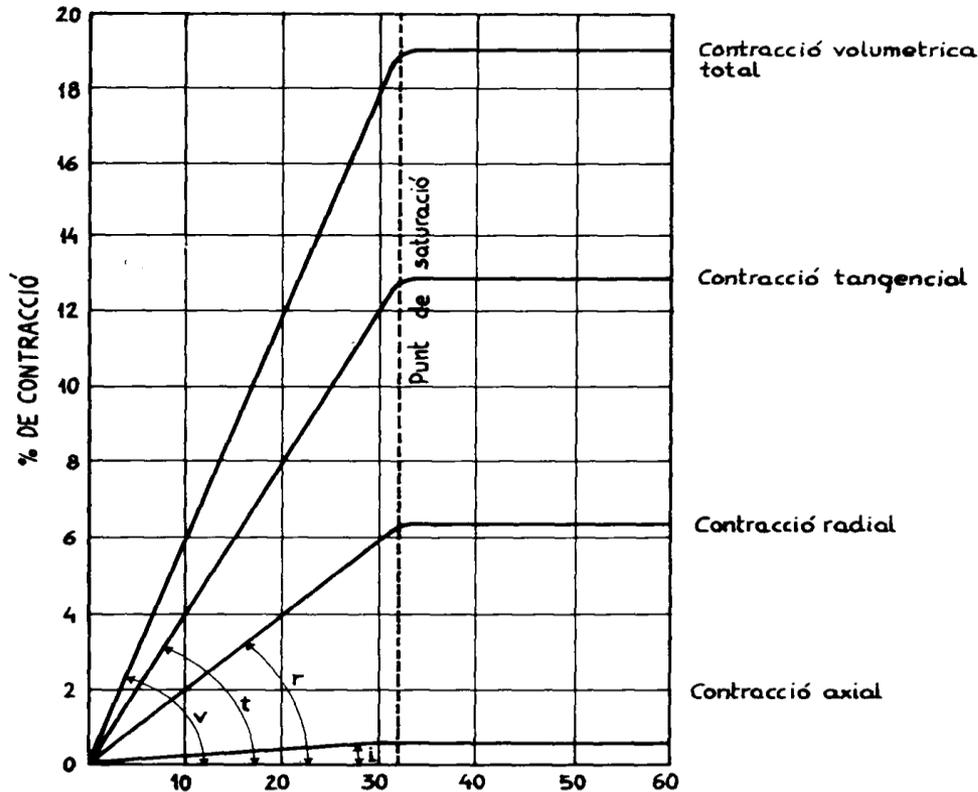
Humedad de la madera: hinchazón y merma



Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera: hinchazón y merma

DIFERENCIA ENTRE LA CONTRACCIÓ RADIAL Y LA CONTRACCIÓ TANGENCIAL

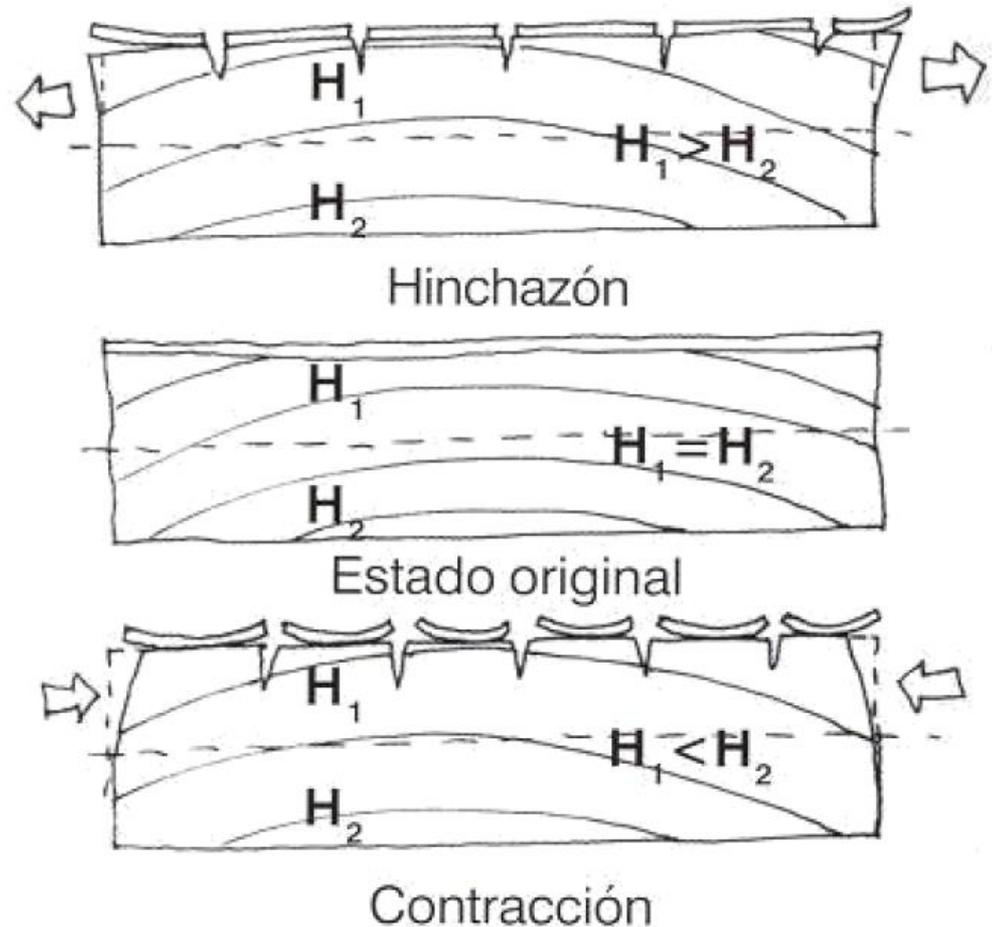


Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera: hinchazón y merma

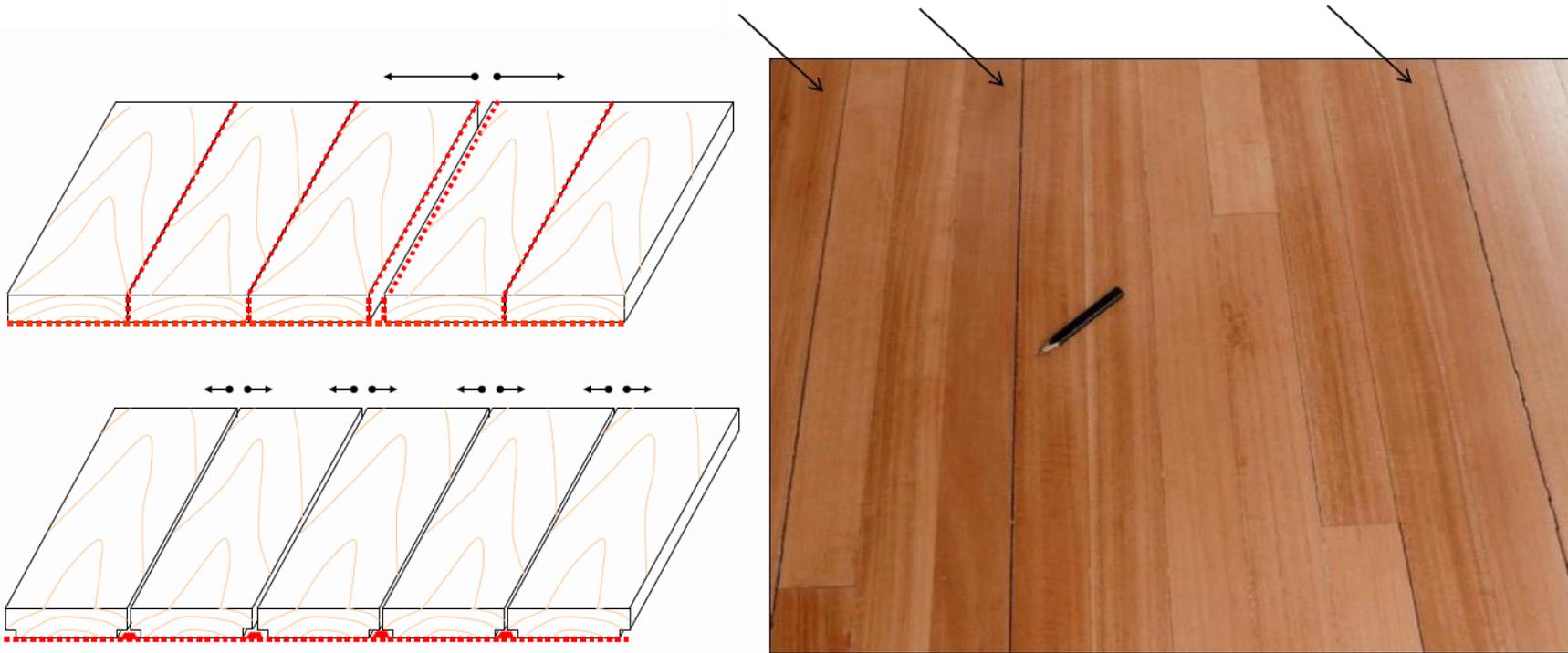
Secado: controlar la velocidad, humedad y temperatura minimiza la aparición de grietas de secado.

Secados lentos y progresivos son menos agresivos



Tema 6: Madera y Agua

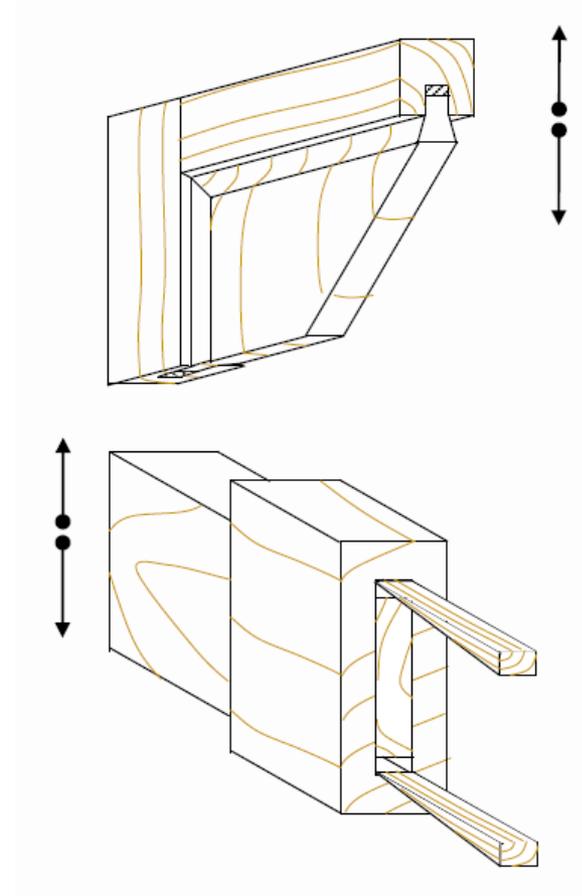
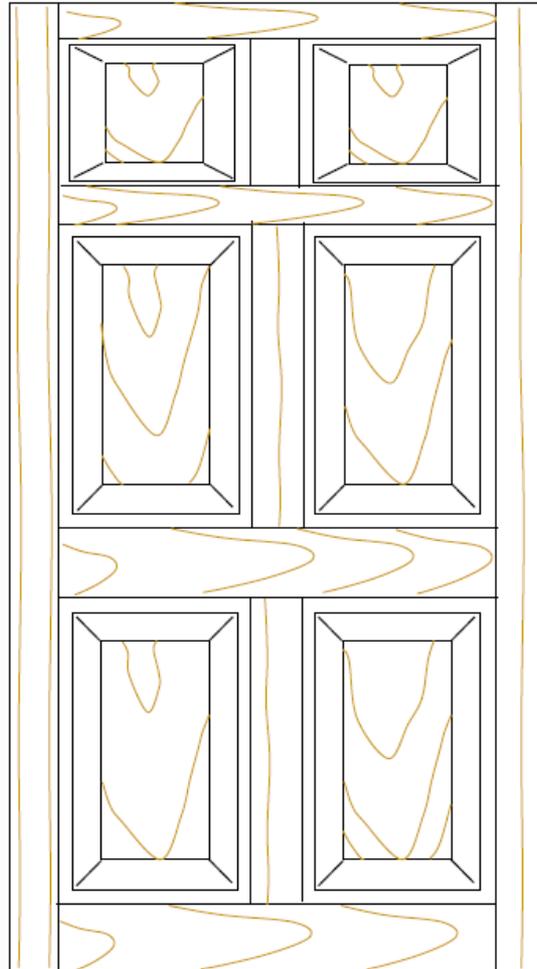
Humedad de la madera: hinchazón y merma



Fuente: Manuel Touza

Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera: hinchazón y merma



Fuente: Manuel Touza

Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera: relación con la resistencia

Factor de modificación k_{mod}

El factor de modificación tiene en cuenta el efecto de la duración de la carga y del **contenido de humedad** de la madera.

Clase de servicio

El contenido de humedad de la madera afecta a sus propiedades mecánicas como ya hemos visto. Por este motivo, y para evitar problemas de cambio de volumen, se aconsejan las siguientes humedades:

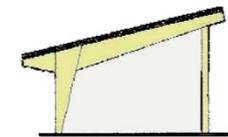
- Expuesto a la lluvia 18-25%
- Exterior no expuesto 16-20%
- Interior no calefactado 13-17%
- Interior calefactado 12-14%

A nivel normativo, se establecen tres clases de servicio:

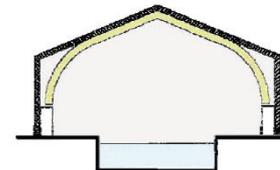
	T (°C)	HR (%)	Humedad equilibrio higroscópico media (%)
CS1	20±2	<65	< 12
CS2	20±2	<85	< 20
CS3	Otras situaciones más desfavorables		> 20



Cubierto y cerrado: CS1



Cubierto: CS2



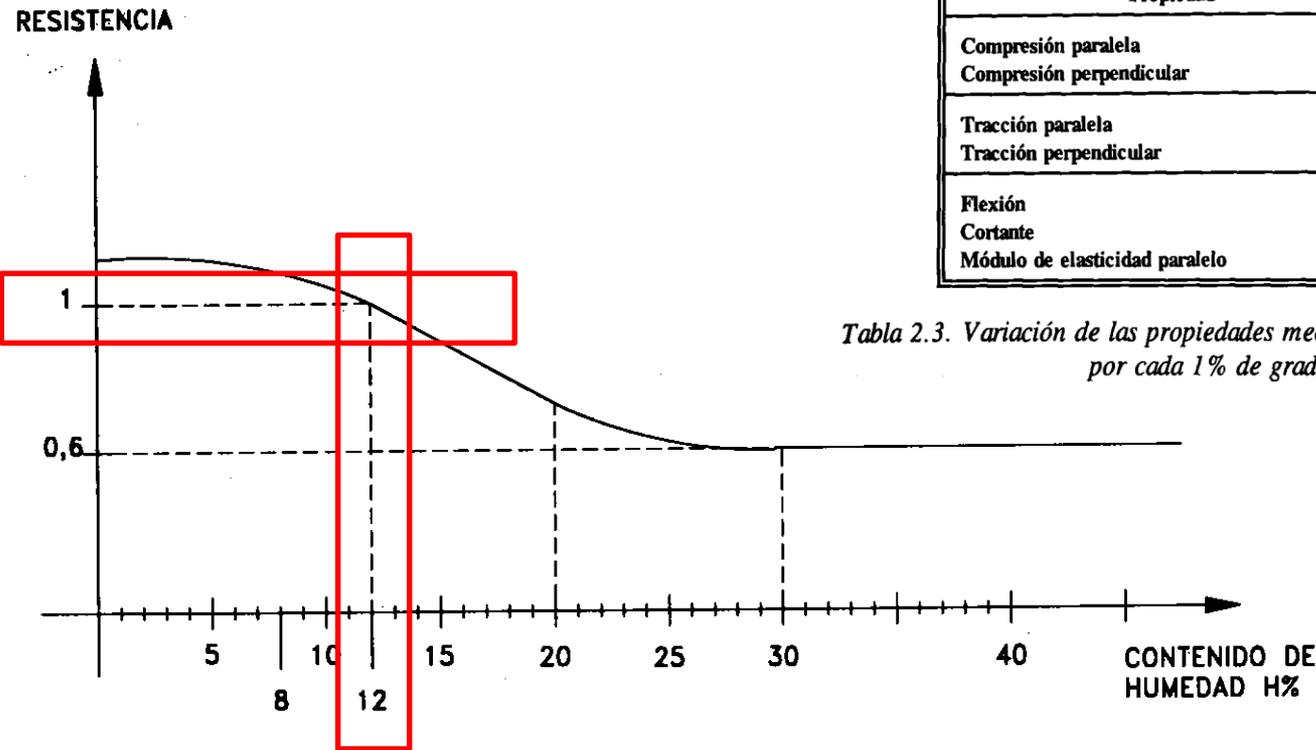
Piscina cubierta: CS2



Totalmente descubierto: CS3

Tema 6: Madera y Agua

Humedad de la madera: relación con la resistencia



Propiedad	Variación (%)
Compresión paralela	5
Compresión perpendicular	5
Tracción paralela	2,5
Tracción perpendicular	2
Flexión	4
Cortante	3
Módulo de elasticidad paralelo	1,5

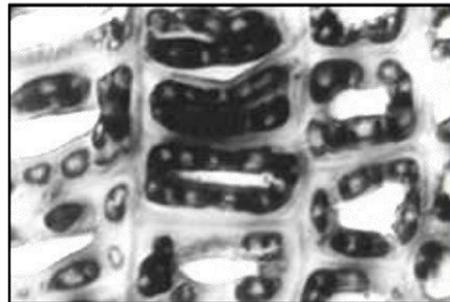
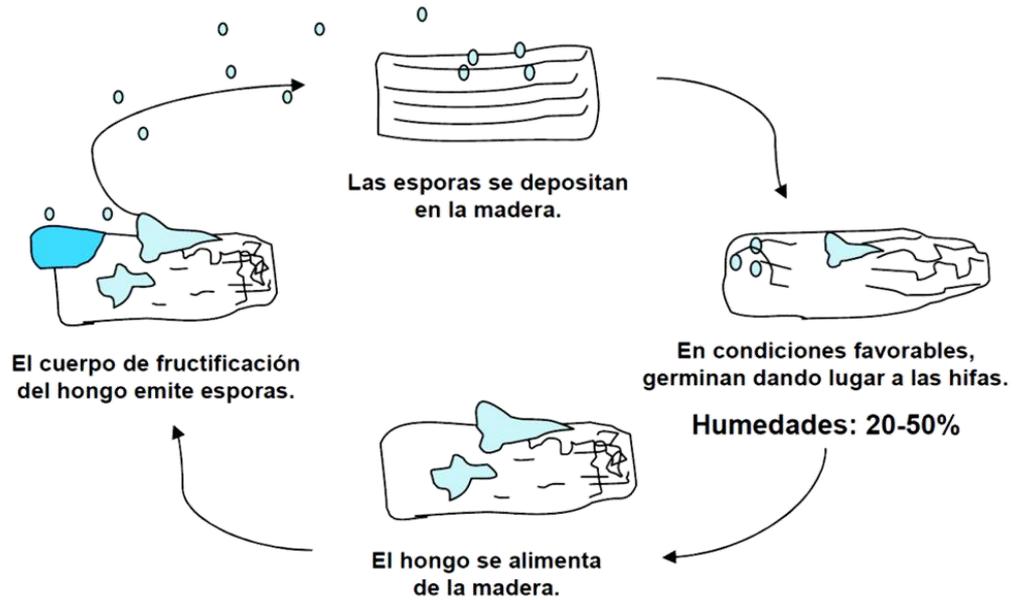
Tabla 2.3. Variación de las propiedades mecánicas de la madera libre de defectos por cada 1% de grado de humedad.

Figura 2.13. Relación entre el contenido de humedad y las propiedades mecánicas en la madera libre de defectos.

3.- Durabilidad de la madera

Tema 6: Madera y Agua

MATERIAL BIODEGRADABLE



HONGOS DE PUDRICIÓN

Fuente: Cis Madeira

Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera

En ocasiones, la madera queda inmersa en unas condiciones que la convierten en un material prácticamente imperecedero. Un ejemplo son los elementos de madera que permanecen sumergidos en agua dulce, donde pueden alcanzar una durabilidad extraordinaria ya que el ambiente saturado de agua y desprovisto de oxígeno impide el desarrollo de los principales organismos xilófagos.

Sólo a finales del siglo XIX se descubre que el agente causante de la pudrición de la madera es un organismo vegetal. Este descubrimiento también permitió establecer el umbral mínimo del 20% de humedad requerido por los hongos de pudrición para poder degradar la madera y, en consecuencia, desarrollar medidas de diseño constructivo más eficaces.

Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera

Estrategias para la protección:

Clase de riesgo

- Madera:
- Elección de especie (durabilidad natural)
 - Protección constructiva o pasiva
 - Protección química
- Herrajes:
- Elección del material (acero inoxidable)
 - Protección por revestimientos (cinc)

Tema 6: Madera y Agua

			Clase Uso (CU) (UNE-EN 335:2011)	Clase Servicio (CS) (CTE/Eurocódigo 5)
Número	Sub-clase	Entorno	Durabilidad del elemento frente al ataque de hongos, fundamentalmente	Integridad estructural elementos encolados y prestaciones elastomecánicas
C1	-	FUERA DEL CONTACTO CON EL SUELO	Productos situados en el interior de edificios cerrados , no expuestos a humidificación ni intemperie*	MC ≤ 12% (20/65%) durante la mayoría del año. En general las estructuras de madera expuestas a un ambiente interior
C2	-		Bajo cubierta y no expuestos a la intemperie (lluvia) pero en las que un ocasional, pero no persistente, humedecimiento puede ocurrir. Condensaciones accidentales. Radiación solar reducida. (Nota: Normalmente MC < 18-20%) *	MC ≤ 20% (20/85%) durante la mayoría del año. En general, estructuras a cubierto y expuestas al ambiente exterior (T/HR) (cobertizos, viseras, etc.). Tb. las piscinas cubiertas, debido a su ambiente húmedo
C3	3.1		Expuestos a intemperie fuera de contacto con el suelo. Rápido drenado y secado. Radiación solar media-elevada*	≠ C1 ó C2 = CS3
	3.2	Expuestos a intemperie fuera de contacto con el suelo. Diseño no garantiza rápido drenado y/o secado. Radiación solar elevada.		
C4	-	Contacto con suelo o agua dulce	Contacto directo con el suelo y/o agua fresca (dulce) * NOTA: Tb diseños que acumulan agua durante largos periodos de tiempo	
C5	-	Contacto con agua marina o salobre	Permanente o regularmente sumergidos en agua salada (ej. Agua marina o salobre)	

*Los ataques por insectos xilófagos, incluyendo las termitas, son posibles, aunque su frecuencia e importancia dependen de la situación geográfica

Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera: clases de uso/riesgo

Clase de riesgo 1



Interior
Centros comerciales
Viviendas, etc

No hay riesgo de ataque por hongos y en cuanto a insectos, puede ser atacada por coleópteros y ocasionalmente por termitas

Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera: clases de uso/riesgo

Clase de riesgo 2



Armaduras de cubiertas, piscinas cubiertas, elementos cercanos a instalaciones de agua



El riesgo de ataque por insectos es similar al de la clase 1

Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera: clases de uso/riesgo

Clase de riesgo 3.1



Intemperie
Pérgolas
- Protegido -

La madera puede ser atacada por los mismos organismos que en la clase de riesgo 2 pero con mayor probabilidad

Al exterior, por encima del suelo, protegido. Ocasionalmente húmedo

Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera: clases de uso/riesgo

Clase de riesgo 3.2



Intemperie
Puentes
- No protegido -

La madera puede ser atacada por los mismos organismos que en la clase de riesgo 2 pero con mayor probabilidad

Al exterior, por encima del suelo, no protegido. Frecuentemente húmedo

Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera: clases de uso/riesgo

Clase de riesgo 4



Postes empotrados en el suelo
Empalizadas
Embarcaderos fluviales



Además de los organismos que atacan en las clases 1, 2 y 3 hay posibilidad de ataque por hongos de pudrición. También el riesgo de ataque por termitas es mayor.

Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera: clases de uso/riesgo

Clase de riesgo 5



Estructuras en agua salada
Pantalanes
Muelles

El riesgo de ataque es el correspondiente a las clases anteriores más el adicional de xilófagos marinos.

Tema 6: Madera y Agua

¿ Durabilidad de la madera en contacto con el suelo/aire ?

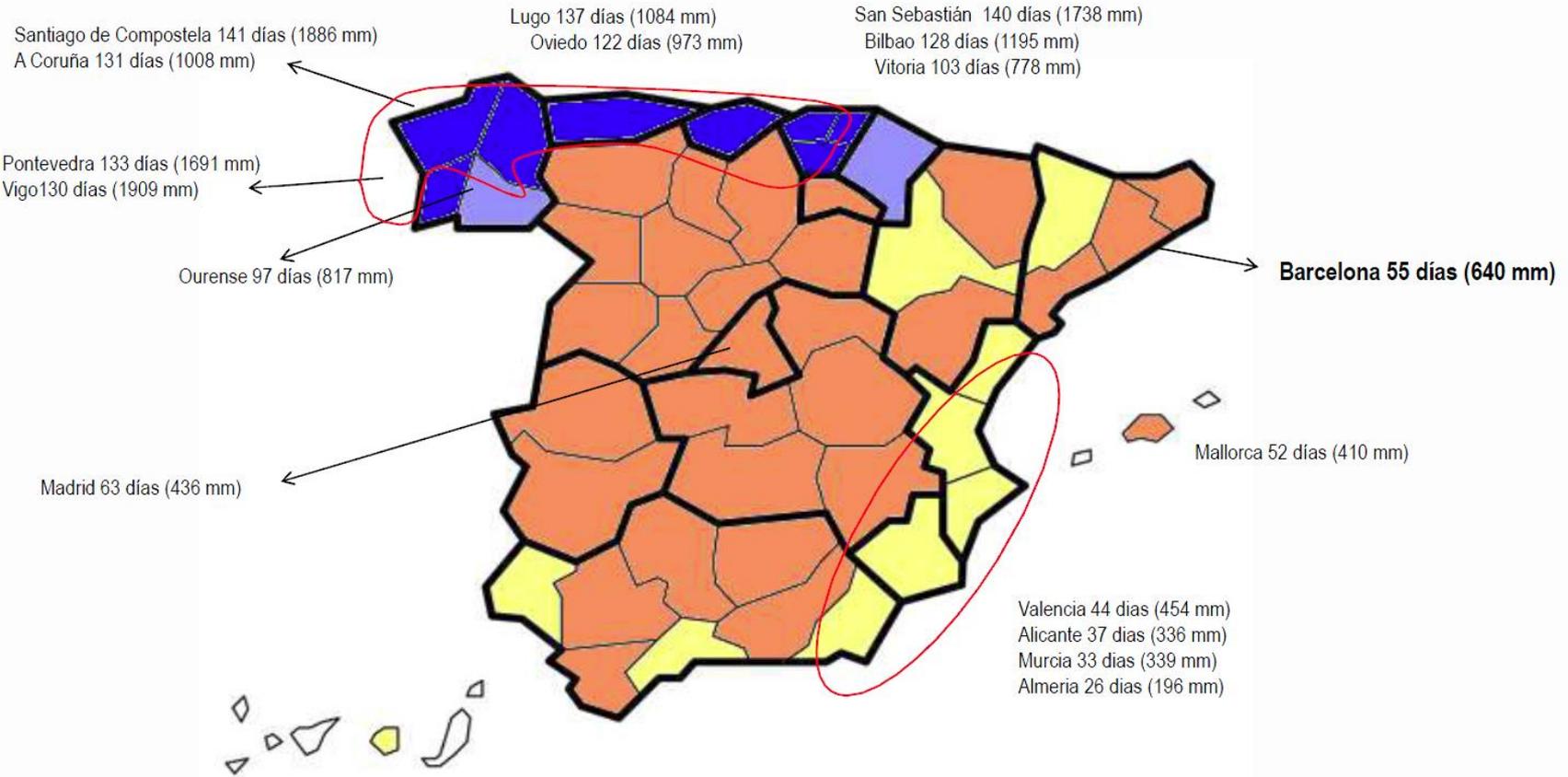


Oceánico litoral : Lluvia 133 días al año (1691 mm)
Oceánico continental : Lluvia 97 días al año (817 mm)
Mediterráneo continental : Lluvia 63 días al año (436 mm)

Fuente: Cis Madeira

Tema 6: Madera y Agua

¿ Durabilidad de la madera en contacto con el suelo/aire ?



Tema 6: Madera y Agua

**CLASE DE USO ≈ RIESGO DE HUMECTACIÓN ≈
f (CLIMATOLOGÍA, DISEÑO CONSTRUCTIVO, MASIVIDAD, ...)**

ELEMENTOS DE MADERA, AL EXTERIOR, POR ENCIMA DEL SUELO, MUY EXPUESTOS AL CLIMA				
MASIVIDAD	DISEÑO CONSTRUCTIVO	CONDICIONES CLIMÁTICAS		
		Secas	Moderadas	Húmedas
		Clase de uso		
Reducida	Correcto	3a		
	Medio	3a	3b	
	Incorrecto	3b	4	
Media	Correcto	3a		3b
	Medio	3a	3b	
	Incorrecto	3b	4	
Elevada	Correcto	3a	3b	
	Medio	3b		4
	Incorrecto	4		

TIPO DE PRODUCTO	MASIVIDAD		
	Reducida	Media	Elevada
Madera maciza	Esp. < 27 mm	Esp. entre 27 y 75 mm	Esp. > 75 mm
Madera laminada (láminas < 35 mm)	Esp. < 28 mm	Esp. entre 28 y 210 mm	Esp. > 210 mm

CRITERIO	CONDICIONES CLIMÁTICAS		
	Secas	Moderadas	Húmedas
Días/año con precipitación >1 mm	< 100	100-150	> 150

Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera

Tabla 8. Durabilidad teórica del duramen de diversas especies comerciales en distintas clases de uso

Especie de madera	Durabilidad estimada frente a los hongos de pudrición en las distintas clases de uso					Resistencia insectos de ciclo larvario	Resistencia termitas
	1	2	3a	3b	4		
Abeto rojo (<i>Picea abies</i>)	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	<10 años	No	No
Abeto blanco (<i>Abies alba</i>)	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	<10 años	No	No
Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>)	>100 años	>100 años	10-50 años	10-50 años	<10 años	Si	No
Alerce (<i>Larix decidua</i>)	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	Si	No
Cedro rojo (<i>Thuja plicata</i>)	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	Si	No
Pino gallego (<i>Pinus pinaster</i>)	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	Si	No
Castaño (<i>Castanea sativa</i>)	>100 años	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años*	Si	No
Roble europeo (<i>Quercus spp.</i>)	>100 años	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años*	Si	No
Robinia (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	>100 años	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	Si	Si
Elondo (<i>Erythrophleum spp.</i>)	>100 años	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	Si	Si
Ipe (<i>Tabebuia spp.</i>)	>100 años	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	Si	Si

* Sólo podría alcanzarse esta durabilidad, si las especies se encuentran expuestas a una clase de uso equivalente a 4, pero no en contacto directo con el suelo.

** Especies del género *Tabebuia*, densas ($\rho > 850 \text{ kg/m}^3$) y oscuras.

Tema 6: Madera y Agua

Tabla C.1. Durabilidad natural e impregnabilidad de coníferas comerciales (UNE-EN 350-2:1995)

Especie	Densidad media (kg/m ³)	Durabilidad natural				Impregnabilidad		Tamaño de la albura	
		Hongos	Hylotrupes	Anóbidos	Termitas	Duramen	Albura		
Pino marítimo, pino gallego (<i>Pinus pinaster</i>)	540	3-4	S	S	S	4	1	I	
Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>)	520	3-4	S	S	S	3-4	1	f-m	
Pino radiata (<i>Pinus radiata</i>)	470	4-5	S	SH	S	2-3	1	I	
Pino laricio (<i>Pinus nigra</i>)	580	4v	S	S	S	4v	1v	m-l	
Abeto blanco, abeto (<i>Abies alba</i>)	460	4	SH	SH	S	2-3	2v	x	
Abeto rojo, píceo (<i>Picea abies</i>)	460	4	SH	SH	S	3-4	3v	x	
Alerce (<i>Larix decidua</i>)	600	3-4	S	S	S	4	2v	f	
Pinos amarillos del sur (origen EE.UU) (<i>Pinus ellioti</i> , <i>P. palustris</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. echinata</i>)		660	3	S	S	M-S	3-4	1	m
Pino Oregón (<i>Pseudotsuga menziessi</i>)	América del Norte	530	3	S	S	S	4	3	f
	Cultivado en Europa	510	3-4	S	S	S		2-3	
Cedro canadiense (<i>Thuja plicata</i>)	EE.UU	370	2	S	S	S	3-4	3	f
	Cultivado en Europa		3	S	S	S			

Fuente: Durabilidad - www.construirconmadera.org

Tema 6: Madera y Agua

Tabla C.2. Durabilidad natural e impregnabilidad de frondosas comerciales (UNE-EN 350-2:1994)

Especie	Densidad media (kg/m ³)	Durabilidad natural			Impregnabilidad		Tamaño de la albura	Observaciones
		Hongos	Anóbidos	Termitas	Duramen	Albura		
Castaño (<i>Castanea sativa</i>)	590	2	S	M	4	2	f	Albura sensible a los ataques de <i>Hesperophanes</i>
Roble europeo (<i>Quercus robur, Q. petraea</i>)	710	2	S	M	4	1	f	Albura sensible a los ataques de <i>Lyctus</i> y <i>Hesperophanes</i>
Fresno (<i>Fraxinus excelsior</i>)	700	5	S	S	2	2	(x)	
Eucalipto Blanco (<i>Eucalyptus globulus</i>)	800*	2*	S	S	3	1	f	Datos propuestos para la próxima revisión de la norma
Iroko (<i>Milicia excelsa, M. regia</i>)	650	1-2	-	D	4	1	m	Albura sensible a los ataques de <i>Lyctus</i>
Teca de Birmania (<i>Tectona grandis</i>)	680	1	-	M	4	3	f	Datos referidos a la madera procedente de bosques naturales
Ipe (<i>Tabebuia</i> spp.)	1040	1	-	D	4	-	f-m	Estas especies no aparecen recogidas por la norma UNE-EN 350-2. La información de la tabla procede de las fichas tecnológicas editadas por el CIRAD-Forêt
Cumarú (<i>Dypterix</i> spp.)	1070	1	-	D	4	-	f	
Angelim vermelho (<i>Dinizia excelsa</i>)	1070	1	-	D	4	-	m	
Elondo, Tali (<i>Erythrophleum suaveolens, E. ivorense</i>)	910	1	-	D	4	-	f	

* La durabilidad natural del eucalipto frente a los hongos xilófagos que aparece en la norma es 5 (no durable). El valor de 2 (durable) se corresponde con la propuesta española para la próxima revisión de dicha norma y ha sido obtenido tras realizar ensayos de campo y laboratorio a madera de árboles con una edad superior a los 30-35 años.

Tema 6: Madera y Agua

Tabla D.1. Especies con durabilidad natural para su empleo en una clase de uso 4

Nombre comercial	Nombre botánico	Origen
Afromorsia, Assamela	<i>Pericopsis elata</i>	África
Azobé, Akoga, Ekki*	<i>Lophira alata</i>	África
Bilinga, Opepe	<i>Nauclea diderechii</i>	África
Bubinga, Oveng	<i>Guibourtia</i> spp.	África
Doussié, Afzelia	<i>Afzelia</i> spp.	África
Elondo, Tali	<i>Erythrophleum</i> spp.	África
Makore, Douka	<i>Thiagemella africana</i>	África
Moabi, Ayap	<i>Baillonella toixosperma</i>	África
Niové, Bokapi	<i>Staudtia kamerunensis</i>	África
Padouk, Palo Rojo	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	África
Wenge	<i>Milletita laurentii</i>	África
Angelim vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>	América del Sur
Cumarú	<i>Dipteryx</i> spp.	América del Sur
Greenheart	<i>Ocotea rubrai</i>	América del Sur
Ipé	<i>Tabebuia</i> spp.	América del Sur
Ironwood, Wamara	<i>Bocoa prouacensis</i>	América del Sur
Itauba	<i>Mezilaurus</i> spp.	América del Sur
Maçaranduba, Balata	<i>Manilkara</i> spp.	América del Sur
Muiracatiara, Gonçalo Alves	<i>Astronium</i> spp.	América del Sur
Quebracho colorado	<i>Schinopsis</i> spp.	América del Sur
Tatajuba, Bagasse	<i>Bagassa</i> spp.	América del Sur
Wacapou	<i>Vouacapoua americana</i>	América del Sur
Balau yellow, Bangkirai	<i>Shorea laevis</i>	Asia
Kapur	<i>Dryobalanops</i> spp.	Asia
Merbau	<i>Intsia bijuga</i>	Asia
Padouk	<i>Pterocarpus</i> spp.	Asia
Jarrah	<i>Eucalyptus marginata</i>	Australia

*El azobe presenta una zona de transición entre la albura y el duramen con una menor durabilidad frente a los hongos de pudrición.

Tabla D.2. Especies con durabilidad natural para su empleo en una clase de uso 5

Nombre comercial	Nombre botánico	Origen	Observaciones
Afromorsia, Assamela	<i>Pericopsis elata</i>	África	
Alep	<i>Desbordesia glaucescens</i>	África	1
Azobé, Akoga, Ekki	<i>Lophira alata</i>	África	1
Bilinga, Opepe	<i>Nauclea diderechii</i>	África	1
Congotali	<i>Letestua durissima</i>	África	1-2
Elang, Mukulungo	<i>Autranella congolensis</i>	África	1-2
Makore, Douka	<i>Thiagemella africana</i>	África	1-2
Moabi, Ayap	<i>Baillonella toixosperma</i>	África	1-2
Monyhinza	<i>Manilkara obovata</i>	África	1-2
Okan, Edoum	<i>Cylicodiscus gabunensis</i>	África	1
Padouk, Palo Rojo	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	África	1-3
Basralocus, Angeliq	<i>Dicorynia guianensis</i>	América del Sur	1-2
Gaulette	<i>Licania</i> spp.	América del Sur	2
Greenheart	<i>Ocotea rodiaeci</i>	América del Sur	1-3
Ipé	<i>Tabebuia</i> spp.	América del Sur	1
Ironwood, Wamara	<i>Bocoa prouacensis</i>	América del Sur	1
Itauba	<i>Mezilaurus itauba</i>	América del Sur	1-3
Maçaranduba, Balata	<i>Manilkara</i> spp.	América del Sur	1-2
Wacapou	<i>Vouacapoua americana</i>	América del Sur	1-3
Wallaba	<i>Eperua</i> spp.	América del Sur	1
Balau yellow, Bangkirai	<i>Shorea laevis</i>	Asia	1-2
Billian, Borneo Ironwood	<i>Eusideroxylon zwageri</i>	Asia	1-3
Eyoum, keranji	<i>Dialium</i> spp.	Africa-Asia	2
Teca, Teca de Birmania	<i>Tectona grandis</i>	Asia	2
Turpentine	<i>Syncarpia glomulifera</i>	Australia	

Criterios de durabilidad: (1): Madera muy densa con un grano fino o muy fino.
 (2): Contenido de sílice elevado.
 (3): Aceites esenciales o contenidos repulsivos.

Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera: aparición agentes biológicos

Tabla 1. Aparición de agentes biológicos según clases de uso

Clase de uso	Situación general en servicio	Descripción de la exposición a la humectación en servicio	Agentes biológicos
1	Interior, bajo cubierta	Seco	Insectos xilófagos de ciclo larvario y termitas
2	Interior o bajo cubierta	Ocasionalmente húmedo (no expuesto al exterior)	Como la anterior, más hongos cromógenos y hongos de pudrición
3	3.1 Al exterior, por encima del suelo, protegido	Ocasionalmente húmedo (expuesto al exterior)	
	3.2 Al exterior, por encima del suelo, no protegido	Frecuentemente húmedo	
4	Al exterior, en contacto con el suelo o con agua dulce	Predominante o permanentemente húmedo	Como la anterior, más hongos de pudrición blanda
	Permanentemente sumergido en agua dulce	Permanentemente húmedo	En estas condiciones especiales, las bacterias pueden ser el principal organismo degradador
5	En agua salada	Permanentemente o regularmente húmedo	El mayor riesgo se deriva de la posibilidad de ataque de xilófagos marinos (Teredinidos <i>Limnoria</i> y <i>Pholades</i>)*

* La parte aérea de ciertos elementos situados en el agua marina, puede estar expuesta al ataque de insectos y hongos xilófagos.

Tema 6: Madera y Agua

DURABILIDAD DE UNA OBRA DE MADERA

Especie de madera	Durabilidad estimada del duramen frente a los hongos de pudrición				Durabilidad natural (hongos)	Resistencia insectos de ciclo larvario	Resistencia termitas
	2	3a	3b	4			
Roble europeo (Quercus spp.)	>100 años		50-100 años	10-50 años	2	Si	No
Alerce (Larix decidua)	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	3-4	Si	No
Pino gallego (Pinus pinaster)	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	3-4	Sí	No
Abeto rojo (Picea abies)	50-100 años	10-50 años	<10 años		4	No	No
Chopo (Populus spp.)	50-100 años	10-50 años	<10 años		5	Sí	No

Fuente: "FD P20-651 Durabilité des éléments et ouvrages en bois"

PERIODO DE SERVICIO DE LA OBRA : Asegurar con la fiabilidad requerida, la estabilidad del conjunto y la resistencia necesaria durante un tiempo determinado.

- Edificaciones > 50 años (CTE)
- Entarimados de exterior, fachadas de madera, mobiliario urbano, pasarelas peatonales ... > 20 - 30 años ?

Tema 6: Madera y Agua

DURABILIDAD DE UNA OBRA DE MADERA

Clase de uso 4
Masividad reducida (< 27 mm)
Diseño incorrecto



Pinus pinaster
97 días de lluvia / Clima Moderado
Vida útil estimada (clase de uso 4) < 10 años



1 AÑO



2 AÑOS



6,5 AÑOS

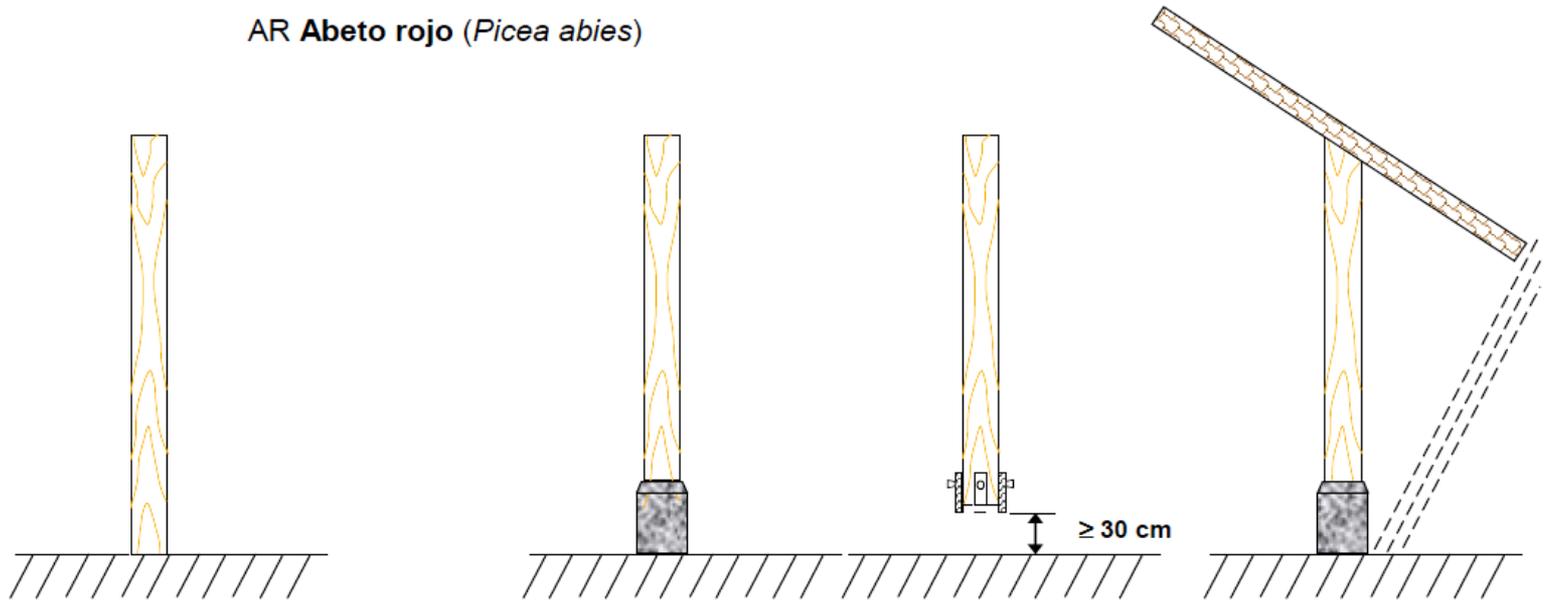
Tema 6: Madera y Agua

Durabilidad de la madera

DURABILIDAD NATURAL DE DIFERENTES ESPECIES DE MADERA

PS **Pino silvestre** (*Pinus sylvestris*)

AR **Abeto rojo** (*Picea abies*)



CLASE DE USO 4

AR: 4 - 4,5 - 5 AÑOS
PS: 7 - 7,5 - 8 AÑOS

CLASE DE USO 3

AR: 40 - 55 - 70 AÑOS
PS: 40 - 60 - 85 AÑOS

AR: 50 - 60 - 75 AÑOS
PS: 90 - 100 - 120 AÑOS

FUENTE: FRANZ KOLLMANN, TECNOLOGÍA DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES, 1959.

Tema 6: Madera y Agua

Protección contra la corrosión de los elementos metálicos (CTE SE-M 3.3)

1. En la tabla 3.2 se incluyen los valores mínimos del espesor del revestimiento de protección frente a la corrosión o el tipo de acero necesario según las diferentes clases de servicio.
2. Las uniones exteriores expuestas al agua deben diseñarse de forma que se evite la retención del agua.
3. En las estructuras que no estén en Clase de Servicio 1 ó 2, además de la consideración del tratamiento de la madera y la protección de otros materiales, las uniones deben quedar ventiladas y con capacidad de evacuar el agua rápidamente y sin retenciones.

Tabla 3.2 Protección mínima frente a la corrosión (relativa a la norma ISO 2081), o tipo de acero necesario

Elemento de fijación	Clase de servicio 1	Clase de servicio 2	Clase de servicio 3
Clavos y tirafondos con $d \leq 4$ mm	Ninguna	Fe/Zn 12c (1)	Fe/Zn 25c (2)
Pernos, pasadores y clavos con $d > 4$ mm	Ninguna	Ninguna	Fe/Zn 25c (2)
Grapas	Fe/Zn 12c (1)	Fe/Zn 12c (1)	Acero inoxidable
Placas dentadas y chapas de acero con espesor de hasta 3 mm	Fe/Zn 12c (1)	Fe/Zn 12c (1)	Acero inoxidable
Chapas de acero con espesor por encima de 3 hasta 5 mm	Ninguna	Fe/Zn 12c (1)	Fe/Zn 25c (2)
Chapas de acero con espesor superior a 5 mm	Ninguna	Ninguna	Fe/Zn 25c (2)
(1)	Si se emplea galvanizado en caliente la protección Fe/Zn 12c debe sustituirse por Z 275, y la protección Fe/Zn 25c debe sustituirse por Z 350.		
(2)	En condiciones expuestas especialmente a la corrosión debe considerarse la utilización de Fe/Zn 40c, un galvanizado en caliente más grueso o acero inoxidable		

Tema 6: Madera y Agua

Protección de la madera

Elección del tipo de protección (CTE SE-M 3.2.1.3)

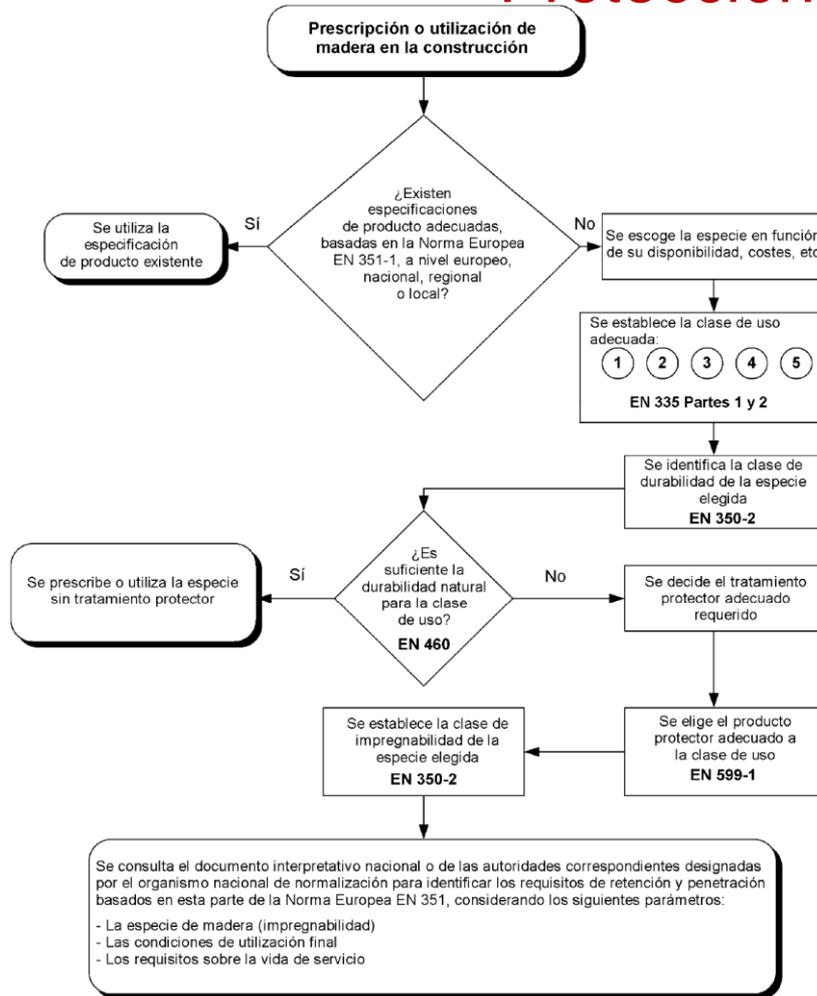


Figura A.1 – Diagrama de flujo para la elección del tratamiento protector

Clase de uso	Nivel de penetración NP (UNE-EN 351-1)
1	NP1(1)
2	NP1(2) (3)
3.1	NP2(3)
3.2	NP3(4)
4	NP4(5)
	NP5
5	NP6(4)

- (1) Se recomienda un tratamiento superficial con un producto insecticida
- (2) El elemento de madera deberá recibir un tratamiento superficial con un producto insecticida y fungicida.
- (3) Los elementos situados en cubiertas ventiladas se asignarán a la clase 2. En cubiertas no ventiladas, se asignarán a la clase 3.1, salvo que se incorpore una lámina de impermeabilización, en cuyo caso se asignarán a la clase 2. Asimismo, se considerarán de clase 3.1 aquellos casos en los que en el interior de edificaciones exista riesgo de generación de puntos de condensación no evitables mediante medidas de diseño y evacuación de vapor de agua
- (4) Las maderas no durables naturalmente empleadas en estas clases de uso deberán ser maderas impregnables (clase 1 de la norma UNE-EN 350-2).
- (5) Sólo para el caso de madera de sección circular (rollizo).

Tema 6: Madera y Agua

Protección de la madera

Cálculo de la durabilidad de un proyecto

El objetivo del proyecto WoodExter es desarrollar una metodología que permita calcular la vida de servicio de un elemento de madera al exterior. En una primera etapa, el proyecto se centró en fachadas y entarimados.

El proyecto, adaptado a la climatología, especies de madera y xilófagos existentes en Australia, está disponible en <http://www.woodsolutions.com.au>.

Dentro de los resultados del proyecto WoodExter se incluye una herramienta informática que permite y realizar los cálculos. Tanto la guía del proyecto como la aplicación informática pueden descargarse en <http://www.kstr.lth.se/guideline/>

Clase de uso		Nivel de penetración	Observaciones	
INTERIOR	1	NP1 (1)	Sin exigencias específicas	Todas las caras deben haber sido tratadas
	2	NP1 (2), (3)	Sin exigencias específicas	Todas las caras deben haber sido tratadas
EXTERIOR	3.1	NP2 (3)	Al menos 3 mm en la albura de todas las caras de la pieza	
	3.2	NP3(4)	Al menos 6 mm en la albura de todas las caras de la pieza	
	4	NP4	Al menos 25 mm en las caras laterales	Sólo se aplica a la madera en rollo de especies no impregnables
NP5		100% albura		
MARINO	5	NP6 (4)	100% albura y, al menos, 6 mm en la zona de duramen expuesta	

- 1 Se recomienda un tratamiento superficial con un producto insecticida
- 2 El elemento de madera deberá recibir un tratamiento superficial con un producto insecticida y fungicida.
- 3 Los elementos situados en cubiertas ventiladas se asignarán a la clase de uso 2. En cubiertas no ventiladas, se asignarán a la clase 3.1, salvo que se incorpore una lámina de impermeabilización, en cuyo caso se asignarán a la clase de uso 2. Asimismo, se considerarán de clase 3.1 aquellos casos en los que en el interior de edificaciones exista riesgo de generación de puntos de condensación no evitables mediante medidas de diseño y evacuación de vapor de agua.
- 4 Las maderas no durables naturalmente empleadas en estas clases de uso deberán ser maderas impregnables (clase 1 de la norma UNE-EN 350-2).

Tabla 14. Elección del tipo de protección

Design Guidelines for wood in outdoors above ground applications

$$\text{Design condition } I_{sd} = I_{sk} \gamma_d \leq I_{Rd}$$

Parameters	Value
k_{s1}	0.8
k_{s2}	1
k_{s3}	1
k_{s4}	0.9
I_{s0}	1.22
c_2	1
I_{sk}	0.88
γ_d	0.9
I_{sd}	0.79
I_{Rd}	2
OK	

Consequence class, γ_d

1 Small
2 Medium
3 High

Local conditions, k_{s1}

Light
Medium
Heavy
Severe

Basic exposure index, I_{s0}

Continental Europe
Nordic Climate zone
Atlantic Climate zones, South of latitude 50-55
Atlantic Climate zones, Latitude 50-55
Atlantic Climate zones, North of latitude 50-55
Mediterranean climate zone

Own value: 1.22

Sheltering, k_{s2}

$e > 0.5d$
 $e < 0.15d - 0.5d$
 $e < 0.15d$

Distance from ground, k_{s3}

> 300 mm
300-100 mm
< 100 mm

Resistance class, I_{Rd}

A
B
C
D
E

Rating of details, k_{s4}

Decking
Cladding

For cladding only
Uncoated
Coated

Excellent
Good
Medium
Fair
Poor

4.- Patologies derivades de la madera

Tema 6: Madera y Agua

Degradación de la madera

La madera se degrada por acción de algún agente:

- Hongos
- Insectos
- Luz solar
- Agentes erosivos

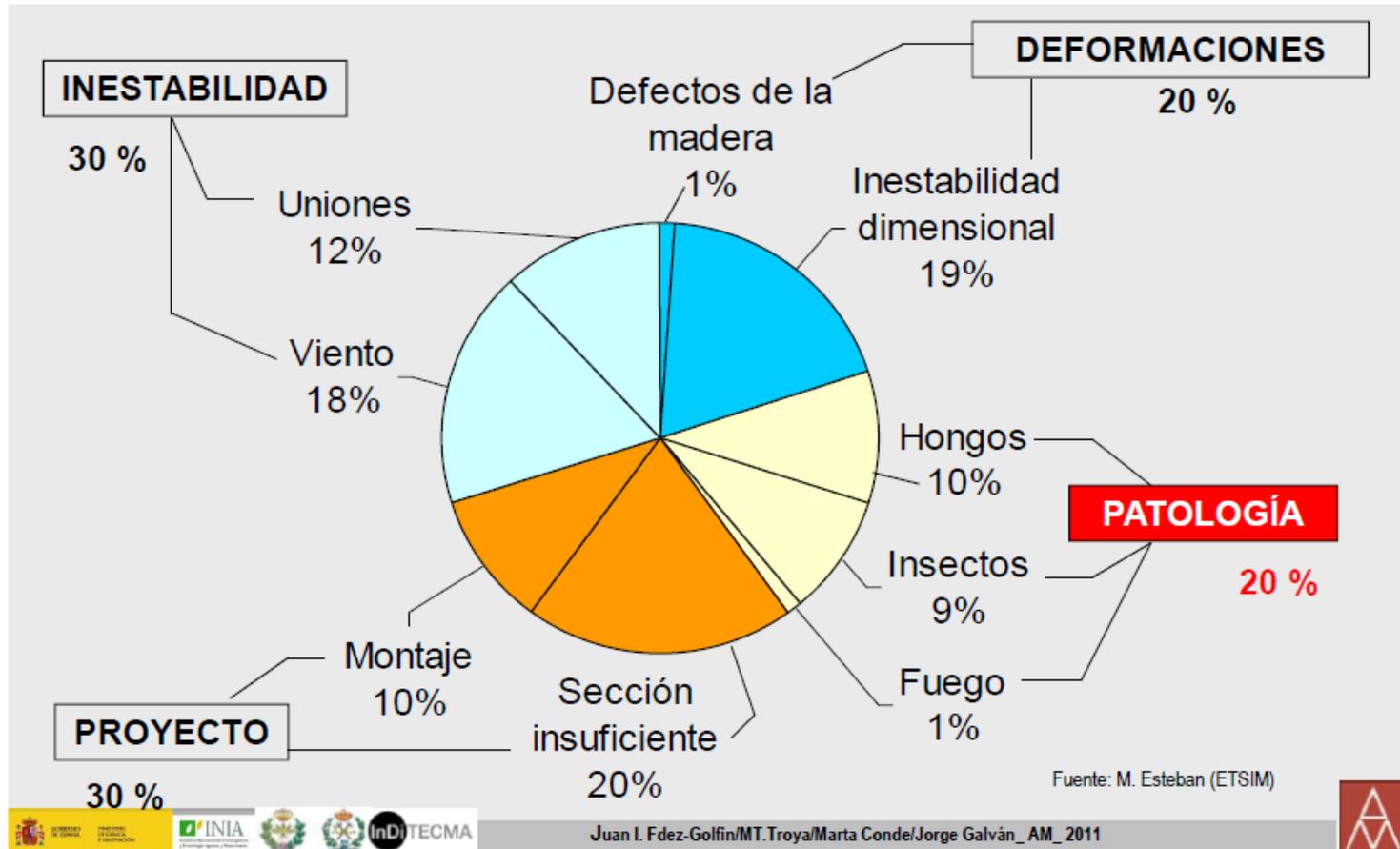
La madera no se degrada por:

- El agua o la humedad
- El tiempo
- La muerte de la madera
- La mayor parte de sustancias químicas

Tema 6: Madera y Agua

Degradación de la madera

Patología en la madera: las causas reales del mal - En la gran mayoría de los casos las aparentes patología del material reflejan patología en el diseño y prescripción, según los usos.



Tema 6: Madera y Agua

Degradación de la madera

ZONAS DE RIESGO.

Para realizar el control de la madera en un edificio, en primer lugar se deben conocer las zonas de riesgo, lo cual simplificará mucho el trabajo de búsqueda. El hecho de que se conozcan estas zonas, hará que se concentre la atención especialmente en ellas, pero sin olvidar hacer una revisión general del resto.

Son zonas de especial riesgo:

- Frente a agentes abióticos (sol, agua de lluvia, etc.)
 - La madera más afectada será la de la carpintería exterior de puertas y ventanas, aleros, etc.
- Frente a ataques bióticos

Frente a la actuación de los ataques bióticos las zonas de mayor riesgo son aquellas que están húmedas o próximas a fuentes de humedad. Las más frecuentes son:

- Las piezas de madera en contacto con el suelo, pilares, pies derechos, etc.
- Los encuentros de la madera con paredes y muros, vigas, etc
- Los lugares de paso de las conducciones de agua, baños, cocinas.
- Las zonas con riesgos de condensaciones.
- Las cubiertas, debido a las posibles roturas de tejas, filtraciones, canalones que pierden agua, malas uniones de la cubierta con chimeneas o paredes, etc. Igualmente, debido a la insuficiente ventilación de la cubierta (a veces nula), permite la condensación del agua o por lo menos el aumento del contenido de humedad de la madera.

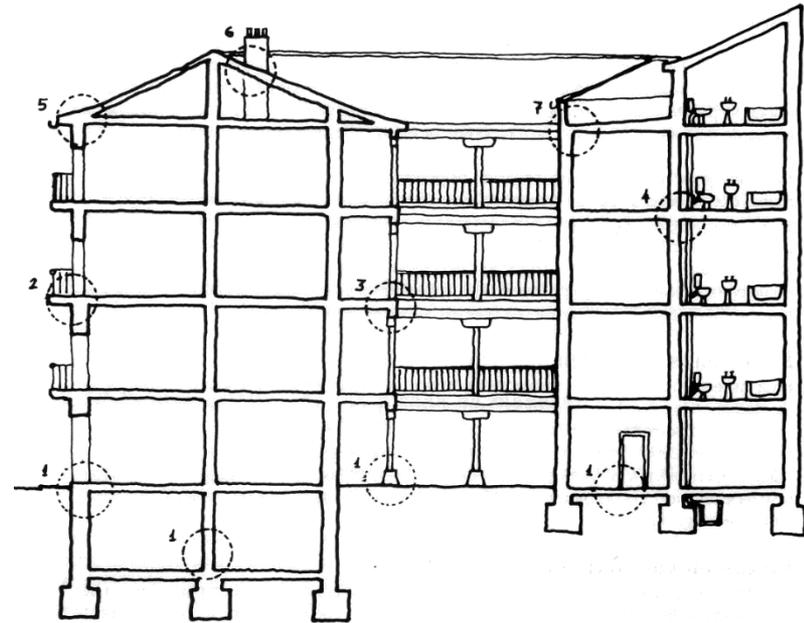


Figura 2.6 Zonas de riesgo en la construcción con madera: 1.- Piezas cercanas al suelo, 2.- apoyos de vigas en muros de fachada con repisa de balcones, 3.- Forjados de galerías, 4.- Forjados en locales húmedos, 5.- Aleros y encuentro de la cubierta con el muro, 6.- Paso de chimeneas en cubierta, 7.- Forjados con cubierta plana.

Tema 6: Madera y Agua

Degradación de la madera: fendas

Se entiende por **fenda** a una separación de las fibras en la dirección longitudinal. Entendemos que es una singularidad de la madera, una característica intrínseca del material que puede aparecer en cualquier momento de su puesta en Servicio.

Existen diferentes tipos de fendas en función de su origen o forma, como las fendas producidas por rayos cuando el árbol está en pie, las fendas de heladura que se producen por la acción del hielo, las fendas producidas por el viento, las fendas producidas por las tensiones durante su transporte y/o mecanizado, las fendas de acebolladura que son aquellas producidas por la discontinuidad de los anillos de crecimiento.... Pero **las más importantes, por ser las más habituales** y por ser las que se tienen en cuenta en las normas de clasificación visual de la madera para ser admitidas y rechazadas para el Servicio, son las

Fendas de secado

Son las producidas a causa de las tensiones internas que se producen en el proceso de secado de la madera debido a las diferencias entre las mermas en la dirección tangencial y radial.



Fenda de secado horizontal



Fenda de secado vertical

Tema 6: Madera y Agua

Degradación de la madera: fendas

Las fendas de secado son habituales y pueden apreciarse en las inspecciones realizadas en inmuebles con estructuras de madera. En este sentido, hay que prestar especial atención a aquellas vigas que están pintadas, ya que lo habitual es que en el proceso se ocultaran las fendas existentes con yeso, escayola o materiales parecidos que dificultan significativamente la apreciación de las mismas:

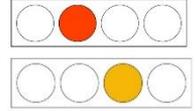


Fendas severas en sentido horizontal descubiertas bajo una capa de pintura y yeso

En general las piezas antiguas tienden a contener menos fendas significativas. Esta observación viene apoyada o justificada por el hecho consumado de que antiguamente los procesos de secado del árbol distaban lejos del estrés al que está sometida hoy en día la industria de la madera.

Fuente: Sanite

Tema 6: Madera y Agua



Degradación de la madera: fendas

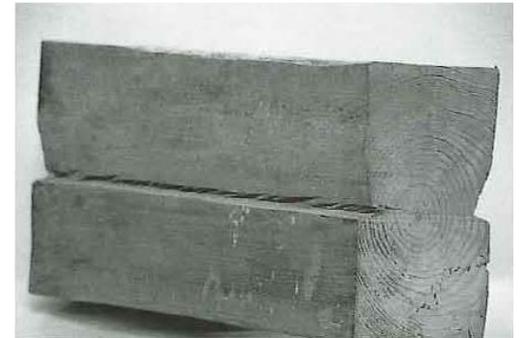
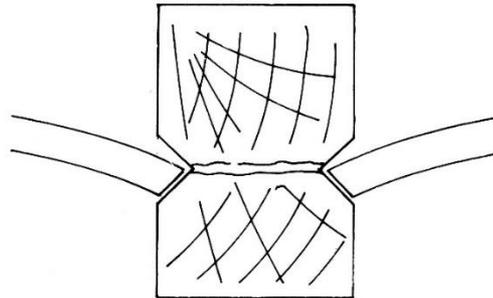
La norma de clasificación visual alemana DIN 4074 es una de las normas europeas más expeditivas, y no limita las fendas de secado e indica que no influyen en la capacidad portante.

Las fendas no provocan una alteración de las propiedades del material, pero desde un punto de vista mecánico, las fendas conllevan a una separación de las fibras y, depende de cómo esté orientada esta separación y cuanto, influirá en la pérdida de resistencia en los esfuerzos de flexión y de tracción.

Si una fenda divide una viga en partes, es lógico pensar que su rigidez y su capacidad de carga será menor en comparación a si la viga se mantuviera compacta.

En forjados con bovedillas pueden no verse (provocan deformaciones excesivas inexplicables de otra forma).

:



Además, **las fendas favorecen la proliferación y/o actividad de xilófagos** y por todo lo expuesto, aconsejamos que aquellas fendas significativas sean convenientemente corregidas mediante un saneamiento de las secciones separadas y la posterior unión con resinas de epoxy, un material con condiciones similares a la madera y que permite que la unidad trabaje de manera cohesionada.

Fuente: Sanite

Tema 6: Madera y Agua

Degradación de la madera

Patología de la madera: Condiciones de actuación de organismos de la degradación

Organismo	Daño/tipo de problema	Intervalo de humedad /condiciones (HR/HE %)	Intervalo de temperatura (°C)
Mohos	Crecimiento superficial, afectación estética	HR ambiental >75%, afectación creciente en función de tiempo, temperatura y especie de madera	-5 a +60°C
Hongos cromógenos	Azulado de la madera, cambios en la permeabilidad	<ul style="list-style-type: none"> •HR ambiental >95% •Humedad de Equilibrio: 25-120%* 	-5 a +45°C
Hongos de pudrición***	Pudrición parda, cubica, blanca	<ul style="list-style-type: none"> •HR ambiental >95% •Humedad de Equilibrio: 20-120%* •Susceptibilidad de la especie de madera 	0 a +45°C
Insectos (termitas subterráneas)***		<ul style="list-style-type: none"> •HR ambiental >65%** •Humedad de equilibrio: >20% •Susceptibilidad de cada especie de madera 	+5 a +50°C
Insectos (resto)***	Insectos distintos (carcoma, <i>Lyctus</i> , <i>Calotermes</i> ...)	<ul style="list-style-type: none"> •HR ambiental** •Susceptibilidad de cada especie de madera 	+5 a +50°C

*Condiciones sostenidas en el tiempo
 **Depende de cada tipo de insecto (las termitas, normalmente, exigen elevados contenidos de humedad en la madera
 ***Según CTE estos organismos xilófagos están presentes en toda la geografía española por lo que sus ataques harán acto de presencia en cuanto se establezcan las condiciones adecuadas para ello.

Tema 6: Madera y Agua

Hongos

Están universalmente presentes, por lo que aparecen siempre que se cumplan simultáneamente, y durante un cierto tiempo, las tres condiciones:

- Temperatura superior a 10º C
- Oxígeno
- Humedad de la madera superior a 20 %

Es la causa de deterioro más frecuente y la que determina las clases de uso.

La regla es evitar que se mantenga la humedad encima del 20% cuando la temperatura sea superior a 10ºC, es decir, **evitar que se moje, pero mucho más garantizar que se seque.**

**DISEÑO y mantenimiento
No son fallos del material**

**SI NO SE PUDIERA GARANTIZAR EL MANTENIMIENTO,
CONSIDERAR UNA CLASE DE SERVICIO SUPERIOR**

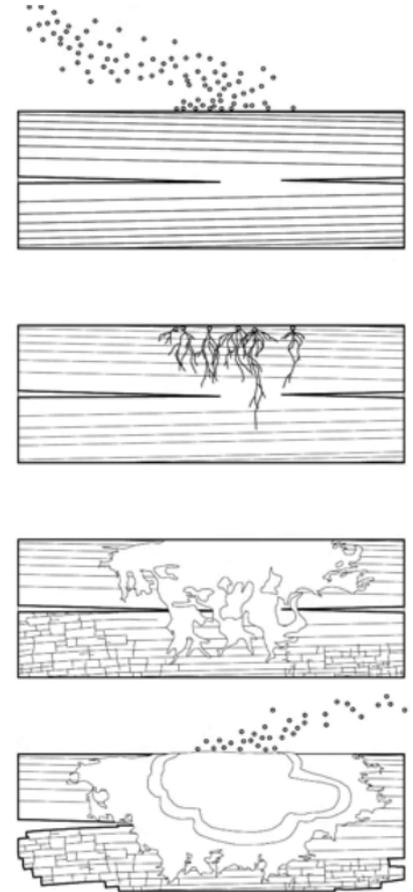


Figura 1. Ciclo biológico de un hongo de pudrición

Tema 6: Madera y Agua

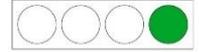
Hongos

- Los hongos se alimentan preferentemente de celulosa y hemicelulosa, dejando un residuo rico en lignina, de color oscuro (pudrición parda) o de la lignina, dejando un residuo rico celulosa y hemicelulosa, de color blanco (pudrición blanca)
- Al secarse la madera, tiende a agrietarse, y se disgrega entre los dedos.
- La destrucción no se hace visible hasta que la madera ha perdido entre un 10-20% de su peso (80-95% de su resistencia mecánica).
- El ataque inicial de estos hongos favorece el de otros organismos xilófagos (anóbidos, etc).
- Básicamente existen tres tipos:
 - Ataque por hongos cromógenos
 - Pudrición parda
 - Pudrición blanca



Tema 6: Madera y Agua

Hongos



Hongos cromógenos

- No influyen en la resistencia de la estructura de la madera, sólo manchan la superficie
- Se alimentan con preferencia de las sustancias de reserva presentes en las células de la albura y no atacan al duramen. Su presencia es habitual en las coníferas mediante el ataque conocido con el nombre vulgar de "**azulado**", que se produce en la madera recién cortada y muy húmeda. Afectan estéticamente la superficie, por lo que normalmente esta madera se destina a trabajos de encofrado, aunque su uso no representa ningún problema si la madera está seca, de lo contrario, pueden actuar como receptáculo de otro tipo de patologías.



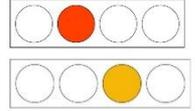
Azulado originado por infección de hongos cromógenos, en la albura de madera de ciprés recién apeada.



Ataque azulado originado en la madera de eucalipto blanco durante el secado

Tema 6: Madera y Agua

Hongos



Pudrición parda húmeda

Es la más frecuente.

La humedad óptima de desarrollo suele estar entre el 40-50% HR.

Afecta tanto a coníferas como a frondosas.

Las principales especies de hongos que la producen son: *Coniophora cerebella* y *Poria vaillantii*.

Para *Coniophora*, la temperatura óptima de desarrollo es de 23°C (Máxima 35°C).

Coniophora cerebella



Tema 6: Madera y Agua

Hongos

Pudrición parda seca

Ataca madera expuesta en lugares mal ventilados. Es un hongo típico en las piezas de madera empotradas en los muros.

La principal especie es *Merulius lacrymans* (*Serpula lacrymans*) y su temperatura de desarrollo oscila entre 9 y 24 °C.

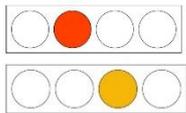
Las hifas del hongo son capaces de transportar el agua que se produce durante su respiración (*lacrymans*) desde los lugares húmedos hasta la madera seca.

Los cubos son mayores que los formados en la pudrición parda húmeda.

Nota: Algunas fuentes consideran que las especies Coniophora cerebella y Serpula lacrymans constituyen el 90% de los ataques a la madera en ambientes domésticos



CUERPO DE FRUCTIFICACIÓN



ATAQUE



TIPOS DE MICELIO



Tema 6: Madera y Agua

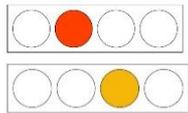
Hongos

Pudrición blanca o fibrosa

El hongo se alimenta preferentemente de la lignina y también de la celulosa. La madera atacada presenta un color blancuzco y un aspecto fibroso.

Las especies más frecuentes son: Schizophyllum commune, Coryolus versicolor Xylaria hypoxilon, etc.

Suele afectar más a las frondosas que a las coníferas. En especial a las frondosas tropicales con elevados contenidos en lignina.

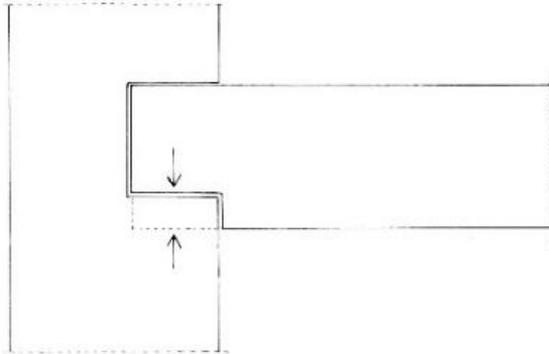


Tema 6: Madera y Agua

Hongos



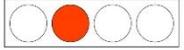
Pérdidas de sección y de resistencia: por causa de ataques y/o degradación de la madera. En los cargaderos atacados por hongos se producen aplastamientos.



Pérdida de sección en cabezas de vigueta

Tema 6: Madera y Agua

Hongos

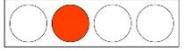


Pérdida de sección en cabezas de viga



Tema 6: Madera y Agua

Hongos



Pérdida de sección en cabezas de viga

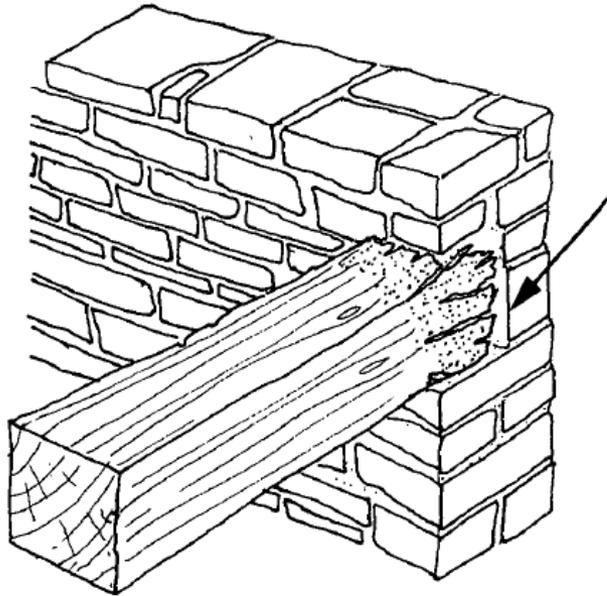


Tema 6: Madera y Agua

Hongos



- Humedad: provoca pudrición en apoyos y en elementos



Pudrición en cabeza de vigueta por falta de ventilación (fallo de diseño constructivo)

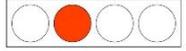
Daños estructurales graves en el forjado de madera donde se apoyaba una bañera



Daños estructurales graves en el forjado de madera alrededor de un bajante



Tema 6: Madera y Agua

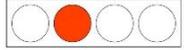


Hongos

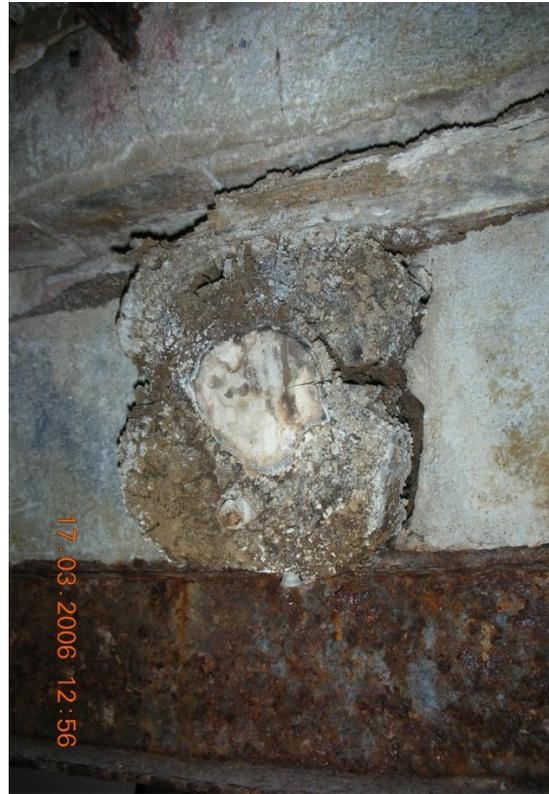


Tema 6: Madera y Agua

Hongos



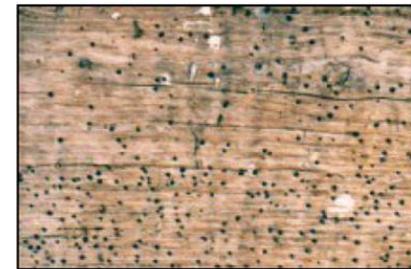
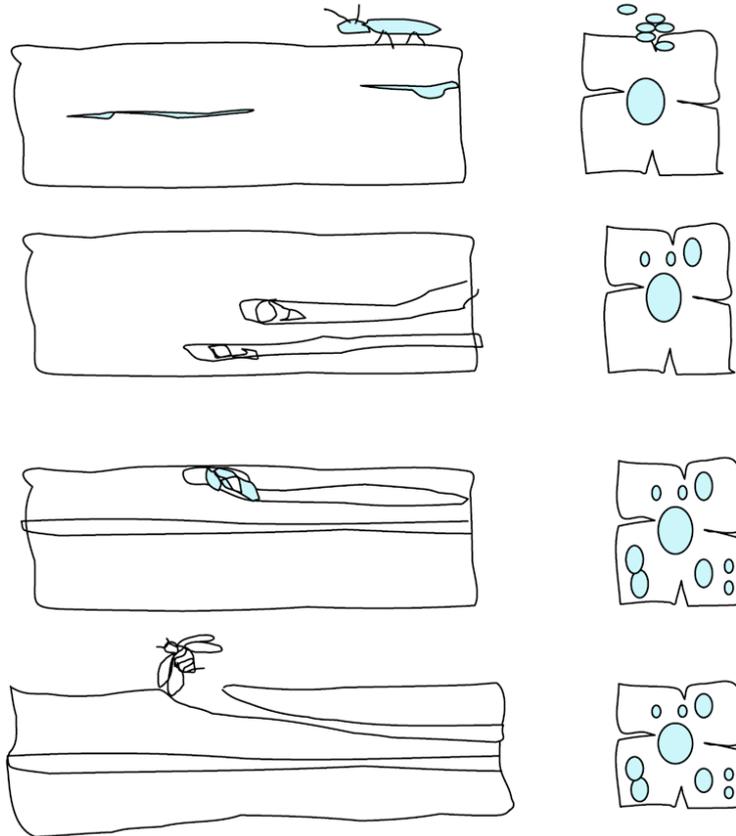
- Humedad en forjado del fondo de un patio: Desaparición de la viga de madera



Tema 6: Madera y Agua

Insectos: coleópteros

- Ciclo biológico Insectos de fase larvaria

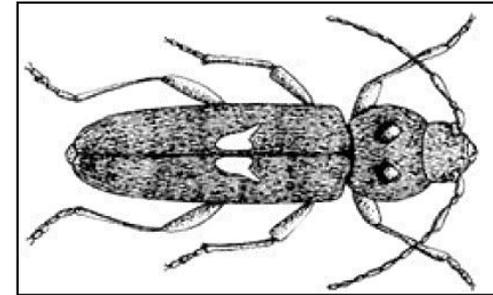
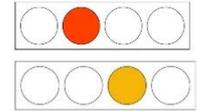


Tema 6: Madera y Agua

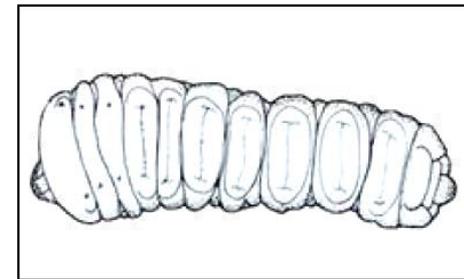
Insectos: coleópteros

Cerambícidos: *Hylotrupes bajulus*

- Nombre científico: *Hylotrupes bajulus* L.
- Nombres vulgares: Carcoma grande, house longhorn beetle, capricorne des maisons
- Orificios de salida: Forma elíptica y diámetros de entre 6 y 10 mm.
- Serrín: Basto, de forma cilíndrica y no expulsado al exterior ya que las larvas dejan una fina película de madera entre las galerías y el exterior. Las galerías siguen la dirección de las fibra.
- Especies de madera: Normalmente ataca la albura de las coníferas
- Humedad: Normalmente el ataque se produce en madera con contenidos de humedad inferiores al 20%.
- Ciclo de vida: 2-(4-6)-10 años. Con la segunda generación la población puede multiplicarse por 40-200.
- Nota: Se considera la especie de mayor incidencia en la madera de construcción europea. Es frecuente su presencia en las armaduras de cubierta. En edificios antiguos es normal encontrar ataques inactivos. Existen especies que se alimentan de la albura de frondosas como el roble, nogal y chopo, siendo la más habitual *Hesperophanes cinereus* Vill., cuyos orificios de salida son elípticos y con un diámetro de unos 12 mm.



10-20 mm



30 mm máx.

Tema 6: Madera y Agua

Insectos: coleópteros

Cerambícidos: *Hylotrupes bajulus*



Foto 5. Insecte adult o imago d'*Hylotrupes bajulus*.



Foto 6. Larva d'*Hylotrupes bajulus* perforant galeries a l'interior de la fusta de pi.



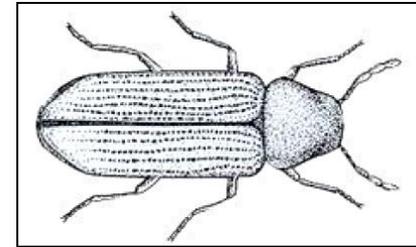
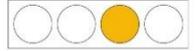
Figura 1.3 Daños producidos por cerambícidos.

Tema 6: Madera y Agua

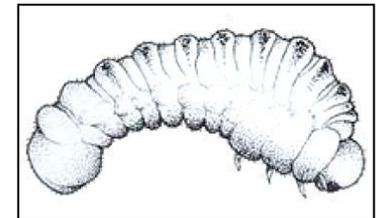
Insectos: coleópteros

Anóbidos: *Annobium punctatum*

- Nombre científico: *Annobium punctatum* De Geer.
- Nombres vulgares: Carcoma, escarabajo de los muebles, woodworm.
- Orificios de salida: Forma circular y diámetros entre 1 y 3 mm (1,5-2 mm).
- Serrín: Rugoso al tacto, de forma similar a limones diminutos cilíndrica y no expulsado al exterior ya que las larvas dejan una fina película de madera entre las galerías y el exterior. Las galerías pueden seguir cualquier dirección.
- Especies de madera: Normalmente ataca la albura de las coníferas y frondosas europeas (roble, olmo, etc). Muy raramente atacan frondosas tropicales.
- Humedad: Los ataques se producen, preferentemente, en lugares con un alto contenido de humedad y reducida temperatura (sotanos, plantas bajas, etc.).
- Ciclo de vida: Normalmente entre 2-3 años. Cada hembra coloca 20-40 huevos. Puede poner huevos en el interior de la galería, sin salir al exterior, por lo que puede existir madera muy atacada en comparación al número de orificios de salida.
- Nota: En ocasiones pueden atacar el duramen de la madera, normalmente si ésta presenta pudriciones. La mayor parte de sus ataques se concentran sobre mobiliario antiguo. Las cubiertas son poco atacadas, salvo en regiones con una elevada humedad ambiente. No suelen atacar madera situada al aire libre ni expuesta a la lluvia.



3-5 mm



5 mm máx.

Tema 6: Madera y Agua

Insectos: coleópteros

Anóbidos: *Annobium punctatum*



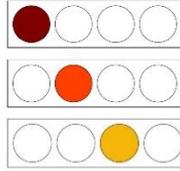
Foto 8. Insecte adult d'*Annobium punctatum*.



Figura 1.2 Daños producidos por anóbidos.



Tema 6: Madera y Agua

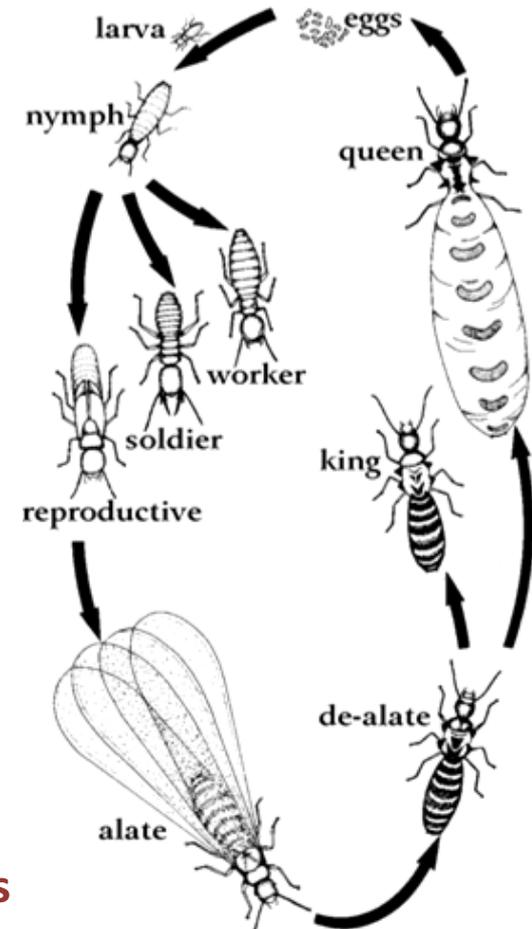


Insectos: isópteros – insectos sociales

Factores bióticos : Insectos – isópteros – insectos sociales

INSECTOS SOCIALES:

- Son insectos que viven en grupos bajo una organización social compleja, con distintos tipos de individuos agrupados en castas.
- Existen cerca de 3000 especies de las cuales unas 70-80 pueden atacar la madera.
- La especie que se encuentra mayormente en la Península Ibérica es *Reticulitermes lucifugus Rossi (termita subterránea)*, que realiza su nido principal en el suelo. Otra especie está presente en las islas Canarias.
- Vive en la oscuridad (la insolación directa mata a obreras y soldados). Sus condiciones óptimas de desarrollo son altos contenidos de humedad relativa del aire (95-100 %) y de temperatura (30°C).
- Construyen canales para desplazarse y abren galerías paralelas a la dirección de la fibra (librillo), alimentándose de madera de primavera y dejando intacta la madera de verano (más dura).



Ciclo biológico termitas subterráneas

Tema 6: Madera y Agua

Insectos: isópteros – insectos sociales

Termitas en España

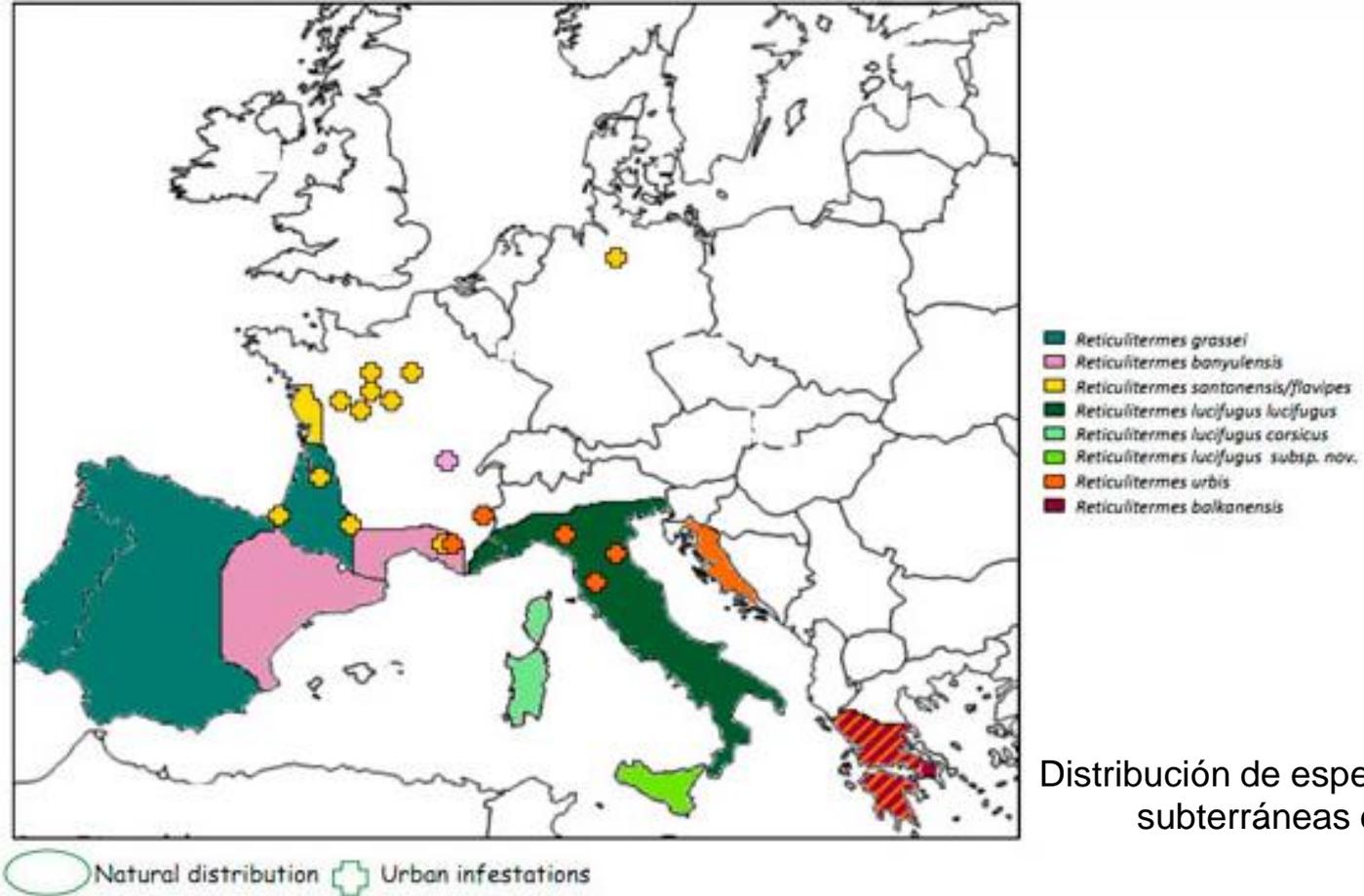
En el caso de España, hay citadas 2 especies de termitas subterráneas (*Reticulitermes grassei* y *Reticulitermes banyulensis*) y se ha detectado la posible presencia de una tercera especie (*Reticulitermes santonensis*) y 2 especies de termitas de madera seca (*Kaloterms flavicollis* y *Cryptotermes brevis*).

En los últimos años en España, se viene detectando una proliferación de los ataques de las termitas subterráneas (y también de las termitas de madera seca) en los cascos urbanos, favorecida por la actividad humana (instalación en los edificios de conducciones de agua, instalaciones de calefacción, etc.), por el abandono de población de muchos cascos históricos lo que conlleva a la pérdida de los hábitos de mantenimiento de los edificios (goteras, roturas de canalones, filtraciones, falta de ventilación, etc.) y por el cambio de clima (con inviernos y veranos más suaves). Debido a todo esto, las termitas encuentran unas condiciones de humedad y temperatura ideales para su desarrollo.

<http://www.expertoentermitas.org/>

Tema 6: Madera y Agua

Insectos: isópteros – insectos sociales



Distribución de especies de termitas subterráneas en Europa

Tema 6: Madera y Agua

Insectos: isópteros – insectos sociales

Termitas subterráneas (Reticulitermes)

- El nido principal está en el suelo. Su formación es un fenómeno complejo que puede durar años. Los bandos nupciales se producen en abril-mayo.
- Las ninfas pueden dar lugar a distintas castas según las necesidades de la colonia. El primer año sólo existen obreras.
- Un ataque de importancia a elementos de madera, suele llevar años. Son muy selectivas a la hora de alimentarse.
- Pueden producir daños estructurales graves, difíciles de reconocer ya que abren galerías internas y dejan intacto el exterior de la madera. Las galerías son paralelas a la dirección de la fibra ("librillo"), alimentándose de la madera de primavera y dejando intacta la madera de verano.

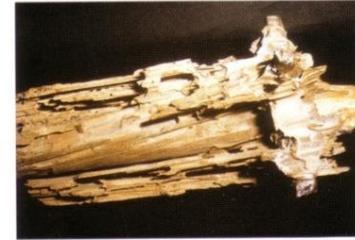


Foto 10. Danys produïts per tèrmits subterranis en una bigueta de sostre.



Foto 11. Camins o xemeneies construïts pels tèrmits subterranis per accedir a la fusta.



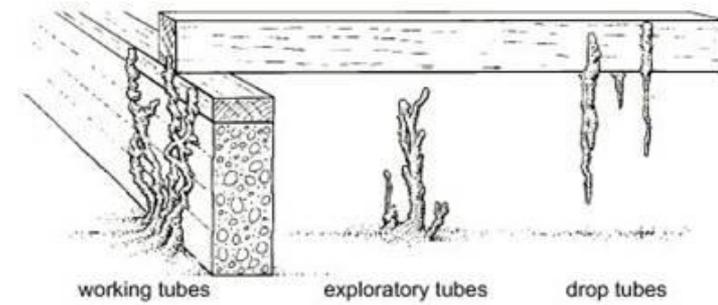
Figura 1.5 Daños producidos por termitas.

Tema 6: Madera y Agua

Insectos: isópteros – insectos sociales

- **Indicios de la presencia de termitas**

Canales formados por las termitas



Tema 6: Madera y Agua

Insectos: isópteros – insectos sociales

- Indicios de la presencia de termitas



Tema 6: Madera y Agua

Insectos: isópteros – insectos sociales

- Indicios de la presencia de termitas



Tema 6: Madera y Agua

Insectos: isópteros – insectos sociales

Termitas madera seca (Kaloterme)

- Las termitas conocidas como de madera seca tienen sus nidos en el interior de sus fuentes de alimentos, en el interior de la madera que atacan. Forman parte de pequeñas colonias 1.000-5.000 individuos, y forman parte de las especies de termitas más primitivas en donde se carece de una casta real de 'obreras', muy presente en Reticulitermes.
- En España tenemos dos especies distintas de este género (Kalotermitidae):
 - KALOTERMES FLAVICOLLIS (FABRICIUS)
 - CRYPTOTERMES BREVIS (WALKER)
- El tipo de termita Kaloterme Flavicollis está presente en toda la península (especialmente en Cataluña, Levante y Andalucía) y en las islas de Baleares. En las Islas Canarias tenemos una especie casi idéntica: Kaloterme Dispar.
- **'No es normal'** encontrar este tipo de termita en el interior de un vivienda, en el interior de algún marco de puerta, ventana o elemento estructural. Se dan algunos casos, por lo general en elementos en contacto con alguna fuente de humedad cercana al exterior del inmueble. En estos casos, la entrada de las termitas se lleva a cabo a través de sus vuelos nupciales -de agosto-diciembre-, procedentes de algún árbol infestado cercano a la propiedad.
- Por experiencia, en realidad aunque se les identifica con 'madera seca' realmente necesitan una madera con un elevado grado de humedad en su interior, de lo contrario, se mueren.



5.- Detalles constructivos

Tema 6: Madera y Agua

Protección preventiva frente a agentes meteorológicos

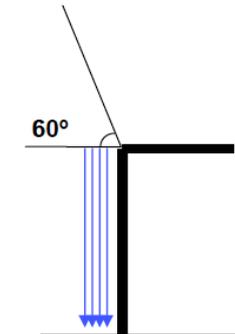
PRINCIPALES RECOMENDACIONES SOBRE DETALLES CONSTRUCTIVOS:

- EVITAR EL CONTACTO DIRECTO ENTRE LA MADERA Y EL TERRENO. Mantener una distancia mínima de 20 cm / disponer material hidrófugo (barrera antihumedad), etc.
- VENTILAR LOS ENCUENTROS DE VIGAS EN MUROS, manteniendo una separación mínima de 15 mm entre la madera y el material del muro. El apoyo en su base debe realizarse con un material intermedio, separador, que no transmita la posible humedad del muro.
- EVITAR UNIONES EN LAS QUE SE PUEDA ACUMULAR EL AGUA.
- EVITAR EXPONER AL AGUA LAS TESTAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE MADERA (piezas de remate, etc).
- PROTEGER LA CARA SUPERIOR DE LOS ELEMENTOS DE MADERA EXPUESTOS A LA INTEMPERIE (albardillas aireadas, etc.).
- FACILITAR LA RÁPIDA EVACUACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA.
- LOS POSIBLES CAMBIOS DIMENSIONALES DE LA MADERA (HINCHAZÓN Y MERMA), NO DEBEN QUEDAR RESTRINGIDOS POR LOS ELEMENTOS DE UNIÓN.

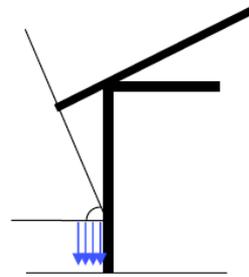
Tema 6: Madera y Agua

Protección preventiva frente a agentes meteorológicos

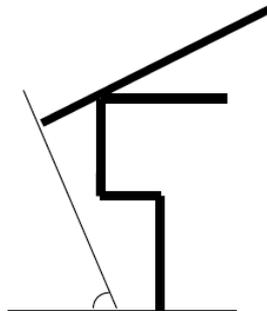
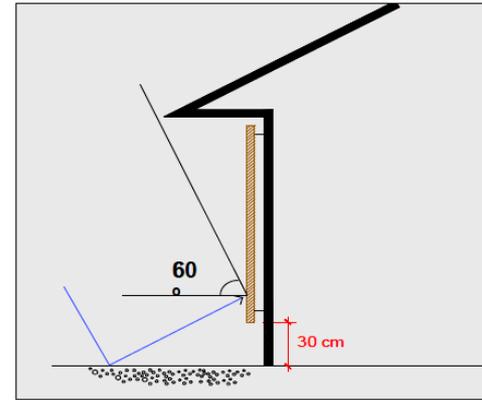
PROTECCIÓN DE FACHADAS



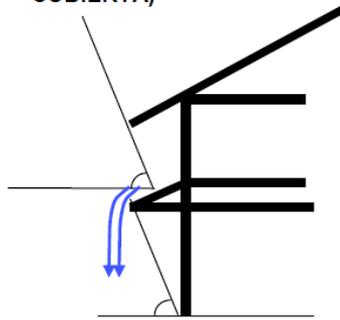
FAHADA EXPUESTA



FAHADA PARCIALMENTE PROTEGIDA (VUELO CUBIERTA)



FAHADA PROTEGIDA (VUELO CUBIERTA Y RETRANQUEO)



FAHADA PROTEGIDA (VUELOS SUCESIVOS DE CUBIERTA)

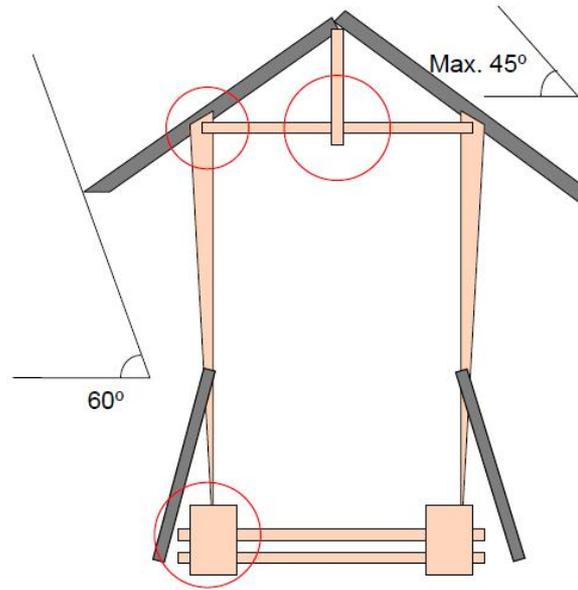


Fuente: Cis Madeira

Tema 6: Madera y Agua

Protección preventiva frente a agentes meteorológicos

DISEÑO CONSTRUCTIVO DE PASARELAS CUBIERTAS



DISEÑO CONSTRUCTIVO CONTRA EL AGUA DE LLUVIA

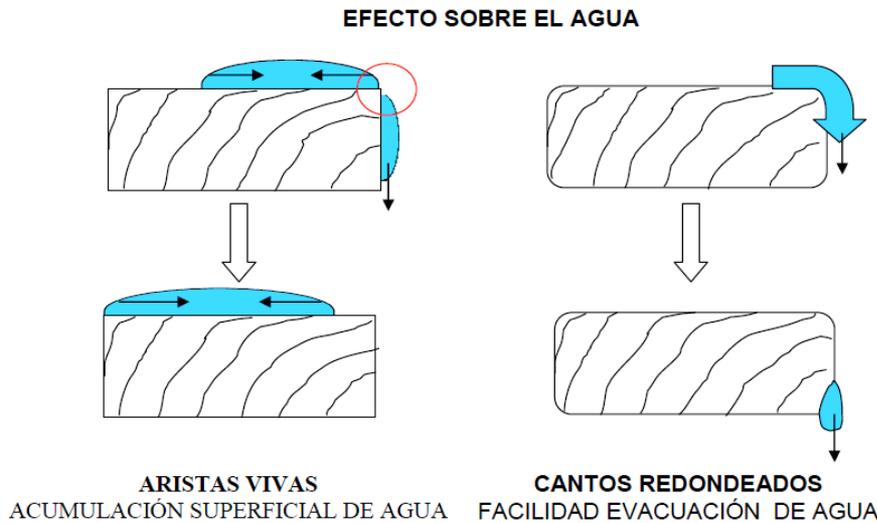


Fuente: Cis Madeira

Tema 6: Madera y Agua

Protección preventiva frente a agentes meteorológicos

ARISTAS VIVAS / CANTOS REDONDEADOS



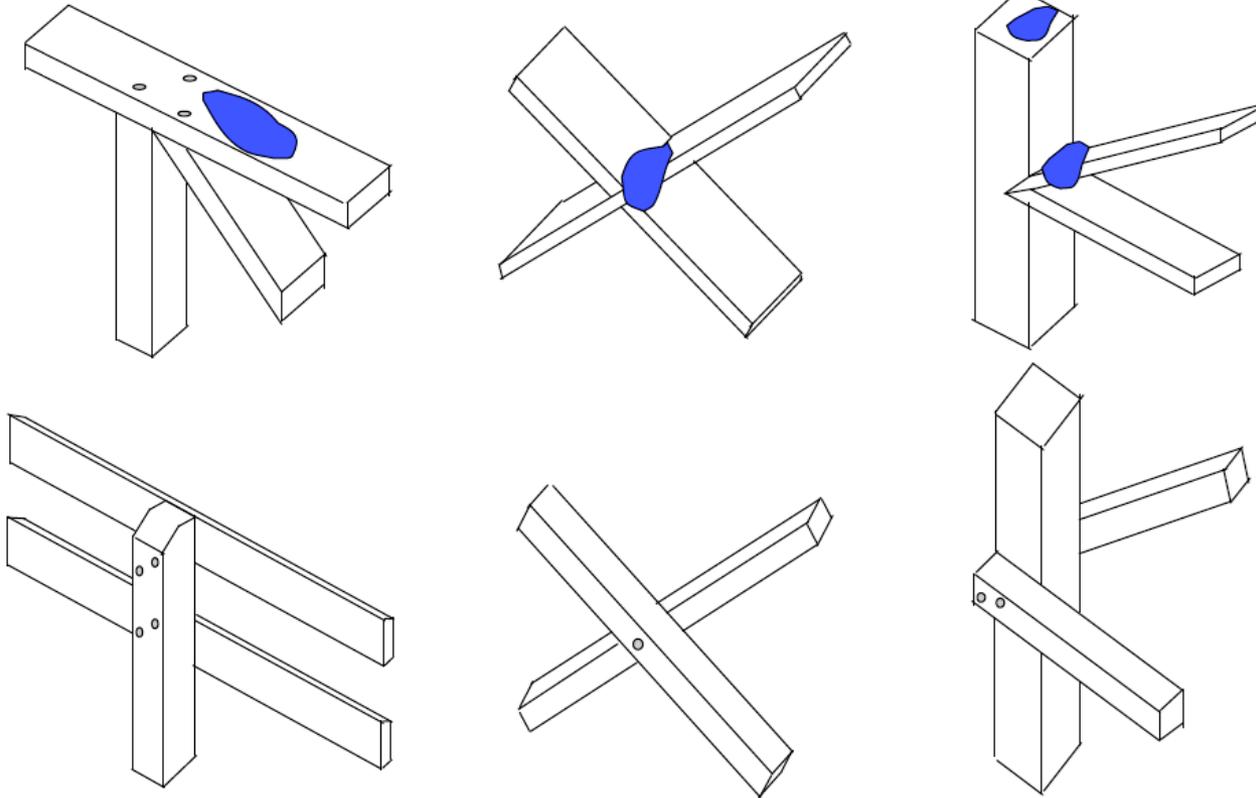
EFFECTO SOBRE EL ACABADO

Fuente: Cis Madeira

Tema 6: Madera y Agua

Protección preventiva frente a agentes meteorológicos

DETALLES CONSTRUCTIVOS: UNIONES

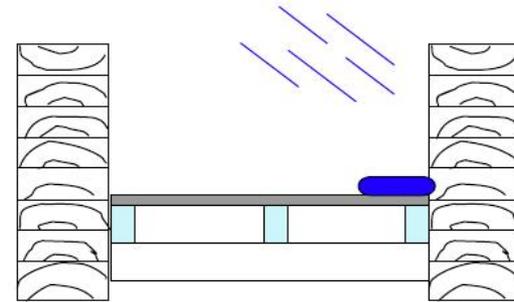
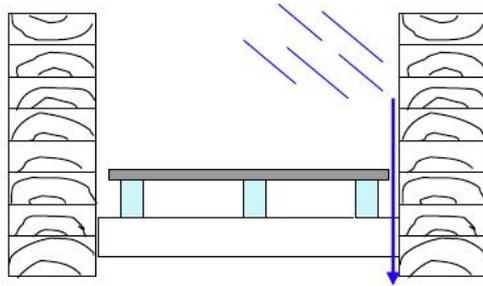


Fuente: Cis Madeira

Tema 6: Madera y Agua

Protección preventiva frente a agentes meteorológicos

EVITAR ACUMULACIONES DE AGUA



LA SOLUCIÓN PERMITE EVACUAR EL AGUA ENTRE EL PAVIMENTO Y LA PASARELA

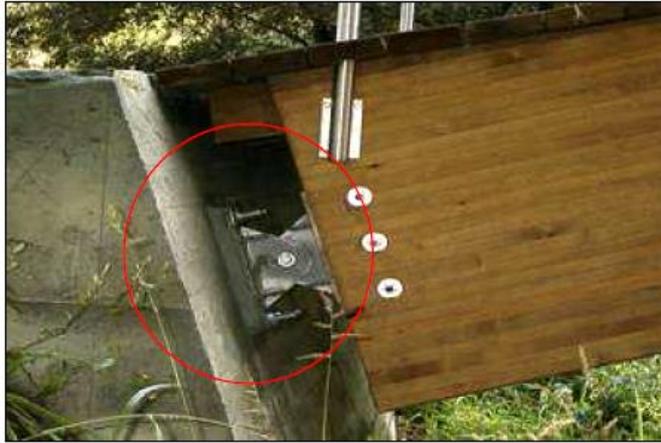


EL AGUA SE ACUMULA EN EL ENCUENTRO ENTRE EL PAVIMENTO Y LA PASARELA

Fuente: Cis Madeira

Tema 6: Madera y Agua

Protección preventiva frente a agentes meteorológicos



Fuente: Cis Madeira

Tema 6: Madera y Agua

Protección preventiva frente a agentes meteorológicos



Fuente: Cis Madeira

Tema 6: Madera y Agua

Protección preventiva frente a agentes meteorológicos



Tema 6: Madera y Agua

53

CONCLUSIÓN FINAL

La construcción con madera debe respetar unos principios muy simples:



«Es necesario construir de forma que se evite que la madera esté en contacto directo con el agua, y si esto no puede ser evitado, es necesario establecer reglas de diseño adecuadas para que el agua pueda ser evacuada rápidamente. Si nada de esto es posible habrá que tratarla químicamente para asegurar su durabilidad adecuada al uso»



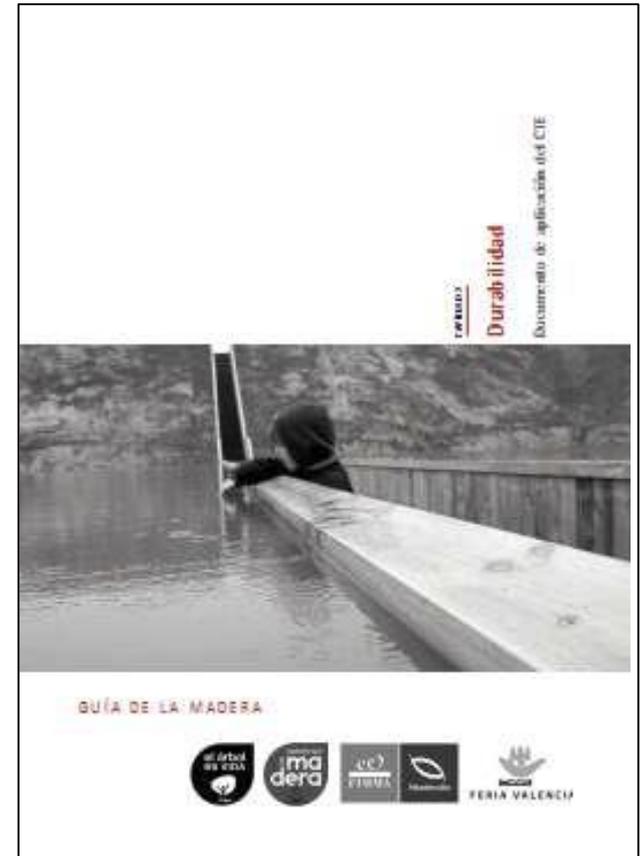
Juan I. Fdez-Golfin/MT.Troya/Marta Conde/Jorge Galván_ AM_ 2011



Tema 6: Madera y Agua

Bibliografía

- Bibliografía específica:
 - Recomanacions per al reconeixement, la diagnosi i la terapia de sostres de fusta (*ITEC*)
 - Manual de diagnosi, patologia i intervencio en estructures de fusta (*Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona*)
 - Intervención en estructuras de madera (*AITIM*)
 - Curso de Patología y Restauración de edificios, Tomo 2 – Patología de estructuras leñosas (*Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid*)
 - Anexo: 2 cuadros sobre ataques de hongos e insectos
 - Touza, M.C. 2013. Guía de la Madera. Capítulo 2: Durabilidad. Documento de Aplicación del CTE. CONFEMADERA HABITAT. 96 pp.
 - https://www.researchgate.net/publication/281321494_Guia_de_la_Madera_Capitulo_2_Durabilidad_Documento_de_Aplicacion_del_CTE
 - <http://www.caatlleida.cat/Fitxers/CentreDocumentacio/Biblioteca/NBibliografiques/Index/BD-7770.pdf>





GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN