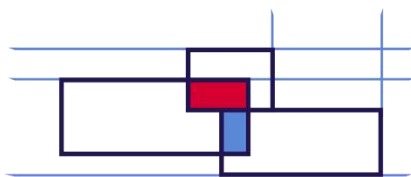


# RIESGOS ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA EN EDIFICACIÓN

FEBRERO 2026



**CLÚSTER**  
DE LA EDIFICACIÓN

## Equipo de trabajo



## Con la colaboración de



# Índice

1.	Objeto .....	5
2.	Riesgos asociados al agua .....	5
2.1.	Reglas para tener en cuenta .....	6
2.2.	Causas que provocan el exceso de humedad y soluciones para mitigar el riesgo .	8
2.2.1.	De la fabricación a la entrega .....	9
2.2.2.	Durante la construcción in situ .....	9
2.2.3.	Durante el uso del edificio .....	10
2.2.4.	Reconocimiento del riesgo según afección bioclimática.....	11
3.	Riesgos asociados al fuego .....	13
3.1.	Requisitos de Resistencia al fuego de elementos estructurales de madera .....	15
3.2.	Aspectos a tener en cuenta para garantizar la resistencia al fuego de los elementos estructurales de madera .....	16
3.3.	Cálculo de acciones en situación de incendio.....	18
3.4.	Uniones de madera en situación de incendio .....	19
3.5.	Aspectos para tener en cuenta en el diseño en proyecto .....	20
4.	Riesgos asociados a la estética .....	21
4.1.	Elementos de afección estética en la madera expuesta .....	21
4.2.	Otros elementos de afección estética .....	27
5.	Riesgos asociados a la acústica .....	29
5.1.	Explicación de términos y conceptos básicos de acústica de edificios.....	29
5.2.	Percepción del sonido y gamas de frecuencias .....	29
5.3.	Problema: frecuencias bajas.....	30
5.4.	Aislamiento acústico mediante el diseño del plano de planta .....	31
5.5.	Estanqueidad y evitación de cavidades.....	31
5.6.	El principio masa-muelle-masa.....	32
5.7.	Aislamiento acústico en paredes de madera .....	33
5.8.	Aislamiento acústico de paredes de madera maciza .....	33
5.9.	Aislamiento acústico para techos con vigas de madera .....	34
5.10.	Aislamiento acústico para techos de madera maciza .....	35
5.11.	Conexiones y uniones de flancos .....	35
6.	Riesgos de diseño y cálculo .....	36
6.1.	Riesgos y consideraciones generales en el diseño de estructuras de madera ....	36

6.2.	Aspectos que afectan al diseño de estructuras de madera desde el punto de vista del cálculo.....	37
7.	Sumario y conclusiones .....	39
7.1.	Riesgos asociados al agua .....	39
7.2.	Riesgos asociados al fuego .....	40
7.3.	Riesgos asociados a la estética .....	40
7.4.	Riesgos asociados a la acústica .....	40
7.5.	Riesgos de diseño y cálculo .....	41
7.6.	Tratamiento y durabilidad .....	41
8.	Bibliografía útil.....	41
8.1.	Normativa y Bases de Diseño (Cálculo y Seguridad) .....	41
8.2.	Durabilidad, Humedad y Protección Biológica.....	42
8.3.	Riesgos Asociados al Fuego .....	42
8.4.	Acústica y Confort.....	43
8.5.	Investigación y Casos de Estudio en España .....	43

## 1. Objeto

La construcción con madera es una práctica tradicional que en la actualidad se ha intensificado por diversos motivos como pueden ser: la industrialización del sector, los beneficios que supone en términos de sostenibilidad, debido a la disminución de CO<sub>2</sub>, o la ventaja frente a otros materiales más tradicionales, como son el hormigón o el acero, por el hecho de reducir las cargas al ser un material más ligero y optimizar costes de construcción.

Pese a todo lo anterior, es importante reconocer que también conlleva ciertos riesgos, derivados del desconocimiento o la ignorancia frente a otros materiales más estandarizados en la construcción que requiere un refuerzo formativo para los profesionales implicados en la construcción que permita una mejora en su capacidad de agencia para los proyectos en los que se haga uso del material.

En este informe, se pretende abordar detalladamente los casos de riesgo asociados a la construcción con madera en edificación, con el objetivo de concienciar a propiedades, técnicos y usuarios sobre la importancia de tomar medidas preventivas para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras.

## 2. Riesgos asociados al agua

Cualquier material es vulnerable a errores de diseño y construcción que provoquen la entrada de agua.

En los elementos constructivos que incorporan madera un exceso de humedad prolongada puede provocar en la madera un deterioro estructural y la aparición de defectos con relativa rapidez, debido a que el exceso de humedad facilita la aparición de determinados ataques xilófagos como los producidos por los hongos de pudrición, las termitas subterráneas o algunas especies de insectos de ciclo larvario.

Las alternancias de ciclos de humedad y sequedad también favorecen los fenómenos de hinchazón y merma con el consiguiente riesgo de aparición de fendas y deformaciones.

Dado que la aparición de defectos provocados por la humedad en las estructuras de madera puede ser un problema costoso de resolver debe considerarse la relación agua - madera desde las etapas iniciales del diseño del edificio hasta la gestión del mantenimiento durante la vida útil del edificio.

### ¿Qué se considera un exceso de humedad?

Humedecer la superficie de un elemento constructivo de madera no debe confundirse con una humedad excesiva. Los elementos constructivos de madera pueden resistir la humedad sobre sus superficies si disponen de una cámara ventilada por encima que evite la acumulación prolongada de humedad.

Cuando el agua permanece sobre un producto de madera varios días y la madera no está ventilada y no se puede secar, la madera absorberá la humedad y si el contenido de humedad de los productos de madera supera el 18-22% se da entrada a la aparición de hongos e insectos xilófagos. El valor del 20% es el umbral que suele indicarse en la bibliografía para que se produzca el ataque de hongos xilófagos.

Los mohos y hongos cromógenos no afectan a sus propiedades mecánicas. Sin embargo, los hongos de pudrición y los insectos xilófagos sí afectan a las propiedades mecánicas de la madera. Aunque no tengan una incidencia estructural, los hongos cromógenos pueden devaluar el valor estético de la madera que quede vista.

Es importante que la madera se mantenga en un contenido de humedad por debajo del 20% para garantizar su durabilidad.

Es necesario que los agentes que intervienen en los procesos constructivos de edificios con madera sean conscientes de la necesidad de una estrategia de gestión de la humedad en cada una de las fases.

### ¿Qué puede provocar una humedad excesiva?

Las principales fuentes de entrada de agua y aumento de la humedad son:

- Transporte y/o apilado inadecuado de la madera en obra.
- Exposición de la madera a la intemperie durante las etapas de construcción del edificio.
- Condensación.
- Fallo de la envolvente.
- Escapes de agua.
- Agua que queda atrapada durante la construcción.
- Inundación.

## 2.1. Reglas para tener en cuenta

No se puede subestimar el impacto potencial de la mayor susceptibilidad de la madera a la exposición al agua en comparación con otros materiales, teniendo en cuenta además que los daños causados por el agua en los edificios son frecuentes (fugas imprevistas de agua, entrada de agua o humedad, inundaciones).

El riesgo se reduce teniendo en cuenta algunas reglas básicas desde la fase de diseño del edificio, siempre es mejor prevenir que curar.

Durante el diseño del edificio debemos responder a: ¿si entrase agua en el edificio durante la construcción o hubiese una fuga ya en condiciones de servicio a dónde iría esta agua?, ¿cuál es el punto débil en el diseño frente al agua? (p ej. sellado de las ventanas, movimiento

de la estructura...), ¿se han diseñado las instalaciones para ser accesibles?, ¿los sistemas de protección de la humedad tienen la misma vida útil que el edificio?, ¿cómo sabremos si han fallado?

Y considerar estas reglas:

- Diseño de estructuras para la clase de servicio y uso adecuadas.
- Diseño de sistemas constructivos donde la madera pueda mantenerse seca por una correcta ventilación y ausencia de acumulación de agua o humedad.
- Incorporar análisis higrotérmico dinámico de la envolvente que garantice ausencia de condensaciones superficiales e intersticiales.
- Evitar revestimientos, repisas o bolsas donde pueda quedar la humedad atrapada.
- Diseño que haga coincidir los puntos de supervisión de la construcción del proyecto, las garantías de los productos y el uso del edificio.
- Considerar la inspección y *reparabilidad* desde el diseño.
- Si el edificio está en una zona inundable evitar la madera en las plantas bajas y núcleos.
- Incorporar un protocolo de protección del material frente a las consecuencias frente a precipitaciones, (lluvia, nieve, encharcamientos, etc.), tanto en el caso de acopio en obra, como en fase de construcción.

Durante la construcción, se ha de revisar si los detalles del diseño abordan la gestión del agua, se ha de vigilar si hay agua estancada sobre productos de madera o si existen procesos que generan bolsas de agua sobre madera y considerar:

- La impermeabilización del edificio como un camino crítico y si no puede ser así, prever medios auxiliares para la protección de la madera contra la intemperie durante el montaje.
- Proteger los elementos de madera contra la entrada de humedad mediante recubrimientos aplicados en fábrica y manteniéndolos cubiertos en obra.
- Si la madera se humedece, reparar los defectos antes de cerrar y comprobar que la madera está seca (a la humedad adecuada) antes de aplicar cualquier revestimiento, impermeabilizante, etc., que limite su secado posterior.
- Informar a la dirección de obra si elementos estructurales de madera se mojan.
- Implementar un proceso de control que verifique que el contenido de humedad está dentro de los límites aceptables y que no se cierren los elementos estructurales de madera hasta que no se haya realizado este control.

- Considerar la instalación de sensores de humedad dentro de la madera en ubicaciones de alto riesgo.
- Instalación de sistemas de detección de fugas como mínimo en áreas húmedas.
- Considerar el uso de láminas adhesivas de protección al agua en todos los elementos horizontales desde la fábrica.

Cuando el edificio está en uso, se ha de planificar la supervisión y mantenimiento considerando la vida útil de los elementos para repararlos o sustituirlos antes de que aparezca un problema. Además:

- Si se detecta una fuga, reparar cuanto antes y consultar con un experto el impacto de la fuga en la estructura de madera.
- Revisar los clásicos puntos de entrada de agua: canalones y bajantes obstruidos, fugas prolongadas de agua por rotura de tuberías, agua estancada en elementos planos.
- Si se va a introducir un cambio de uso del edificio que aumente el nivel de humedad, revisar la adecuación del proyecto.

## **2.2. Causas que provocan el exceso de humedad y soluciones para mitigar el riesgo**

Ha de considerarse la vida útil de la estructura de madera del edificio, así como programar su mantenimiento y sustituciones ante eventualidades.

El control de la humedad es fundamental para garantizar la durabilidad y ha de estar integrado en el diseño y la construcción.

La durabilidad hace referencia al desempeño de un producto, componente o sistema para realizar su función durante el periodo de tiempo para el que fue diseñado, ya sea seguridad estructural, capacidad de servicio, salubridad o estética.

Es de utilidad saber, que en la norma EN 460 aparecen las siguientes definiciones:

Vida de diseño: Vida de servicio prevista por el proyectista.

Vida de servicio: Periodo de tiempo después de la instalación durante el cual un edificio, una estructura o sus componentes cumplen o superan los requisitos de prestación

Resistencia del material: Capacidad inherente de un material para soportar un peligro biológico específico a través de una combinación de durabilidad natural y/o conferida y del comportamiento de la dinámica de la humedad correspondiente a los diferentes agentes biológicos.



**Durabilidad biológica:** Resistencia inherente de una especie de madera o material derivado de la madera frente a los organismos xilófagos. Puede ser de origen natural o durabilidad conferida.

**Durabilidad conferida:** Resistencia mejorada de una especie de madera frente a los agentes degradadores biológicos, proporcionada por un proceso de tratamiento (químico, físico, etc.) como la protección de la madera o la modificación de la madera.

**Durabilidad natural:** Resistencia inherente de una especie de madera al ataque de organismos xilófagos.

Cada agente que interviene en el proceso, hasta el cliente, tiene la responsabilidad de garantizar que la vida útil de diseño de los elementos constructivos de madera no se reduzca debido a sus acciones.

### **2.2.1. De la fabricación a la entrega**

#### ¿Qué puede provocar humedad excesiva?

- Falta de protección frente a la lluvia o la nieve de los elementos constructivos de madera durante su almacenamiento y transporte previo a la entrega.
- Que el agua de lluvia haya podido quedar atrapada en el interior de paneles de madera en el almacenamiento previo a la entrega.

#### ¿Cómo se mitiga este riesgo?

- Si los elementos constructivos de madera se mojan ha de considerarse un periodo de ventilación y secado en el proceso de almacenamiento y construcción.
- Control de la humedad de los elementos constructivos de madera en la recepción en obra.

### **2.2.2. Durante la construcción in situ**

#### ¿Qué puede provocar humedad excesiva?

- Protección inadecuada de los elementos constructivos de madera en su acopio en obra.
- Que durante el montaje en obra esté lloviendo o nevando, lo que lleva a que los elementos constructivos absorban humedad constantemente durante días sin periodos de secado.
- Materiales en contacto con agua estancada.

### ¿Cómo se mitiga este riesgo?

- Diseñando sistemas constructivos en los que la madera esté protegida de la exposición directa a la intemperie.
- Diseñando sistemas constructivos en los que si la madera ocasionalmente se moja o humedece tenga posibilidad de secarse.
- Facilitando tiempo de ventilación y secado durante el montaje.
- Comprobando el contenido de humedad de los elementos de madera antes de que queden sin posibilidad de secado, si van encapsulados.
- Utilizando medios auxiliares de protección contra la intemperie durante el montaje.
- Control de calidad que compruebe el contenido de humedad de los elementos constructivos de madera.

### **2.2.3. Durante el uso del edificio**

#### ¿Qué puede provocar humedad excesiva?

- Aparición de condensaciones.
- Perforaciones en las membranas diseñadas para proteger los elementos de madera de la entrada de agua.
- Falta de protección o protección ineficiente.
- Fugas en tuberías.
- Daños por inundación.

### ¿Cómo se mitiga este riesgo?

- Diseñando sistemas constructivos en los que si la madera ocasionalmente se moja o humedece tenga posibilidad de secarse.
- Si el edificio está en una zona con probabilidad de inundación, diseñar el edificio de modo que los elementos constructivos de madera, especialmente los estructurales, estén por encima del nivel inundable.
- Diseñando edificios que eviten la aparición de bolsas de agua, mediante medidas pasivas que garanticen que si hay filtraciones de agua esta no va a quedar atrapada y podrá evacuarse sin quedar retenida en petos o puntos bajos, especialmente en el diseño de forjados y cubiertas.
- Prever orificios de drenaje cuando sea necesario.

- Se han de evitar diseños con cubiertas planas o con poca pendiente.

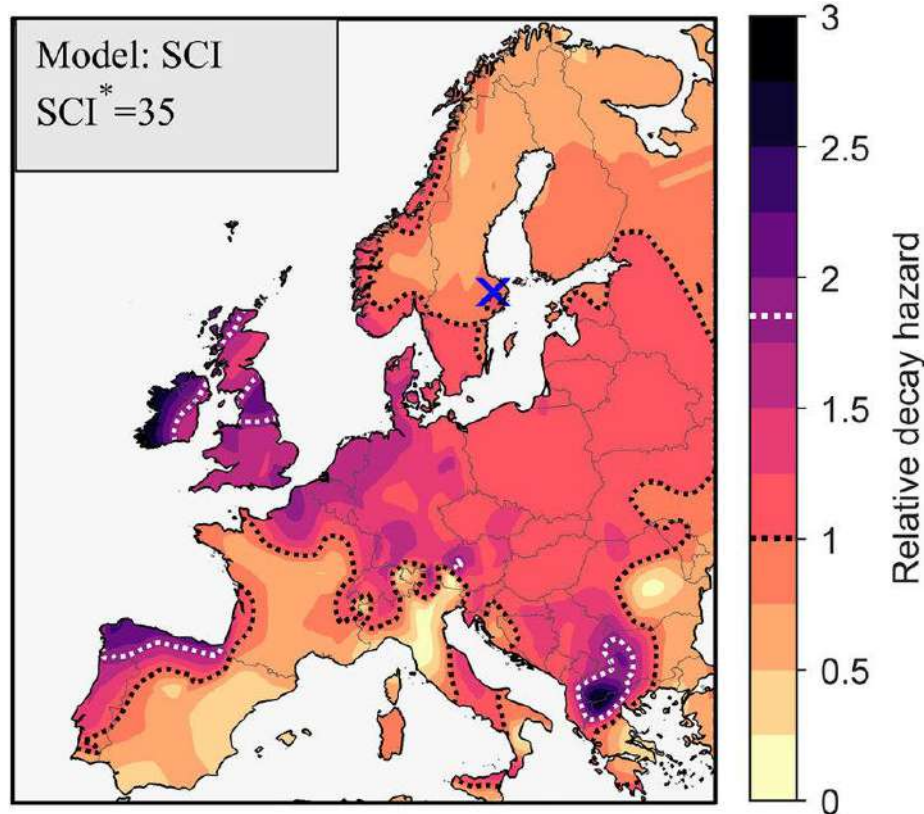
#### **2.2.4. Reconocimiento del riesgo según afección bioclimática**

El índice de Scheffer evalúa el riesgo de pudrición de un elemento de madera en función de la precipitación y la temperatura externa por lo que se emplea en proyectos expuestos al exterior como un entarimado, una pasarela o una fachada. Su aplicación en elementos que formen parte de una edificación bajo cubierta no debe entenderse en el mismo sentido por la mitigación de la protección constructiva.

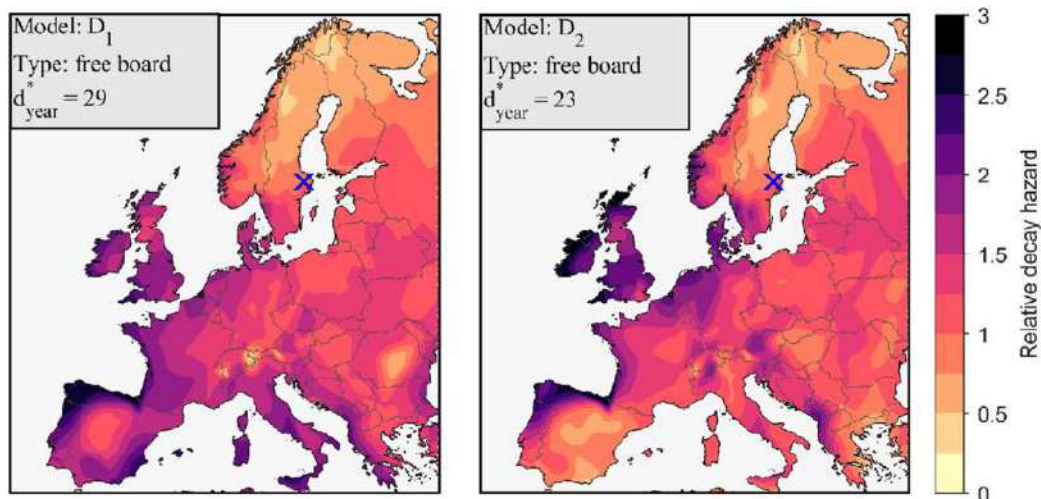
España tiene unos niveles de riesgo asociados a la madera muy variables. A pesar de que a nivel normativo español esto aún no esté reflejado en ninguna parte, es esencial que todos los agentes del sector de la edificación sean conscientes de que en nuestro país encontramos prácticamente todos los niveles de riesgo, 8 de 10 de los niveles de variabilidad del cuadro de riesgo de pudrición relativo, (Relative Decay Hazard), representado en el gráfico.

Se hace muy importante para el análisis de las medidas de precaución en el diseño y la construcción, que se tome en cuenta esta zonificación general, componiéndola con las condiciones adicionales que suponen la posición del edificio en circunstancias variables locales como una depresión de ribera de río, vertiente norte o sur de montaña, zona más o menos ventosa, etc.

En general, habrá que tener en cuenta circunstancias como son las épocas y niveles de máxima o mínima pluviometría, el lugar, el tiempo de exposición de los materiales durante su acopio o en la fase de construcción hasta garantizar su protección constructiva a la hora de definir las medidas de protección mínima hasta la conclusión de la ejecución de la obra.



Fuente Researchgate.net, Decay hazard map based on the Scheffer climate index. The cross marks the reference site where the relative decay hazard is equal to one and the SCI is equal to 35. The dotted lines divide the three zones originally defined by Scheffer (1971): least favourable conditions for decay (SCI , 35), intermediate conditions ( $35 \leq \text{SCI} \leq 65$ ) and conditions most conducive for decay (SCI . 65).



Relative decay hazard in Europe based on use-class 3.1 conditions, calculated with modelling approaches D 1 (left) and D 2 (right), respectively. The cross in each subfigure marks the reference site where the relative decay hazard is equal to one and the annual doses are equal to 29 (left) and 23 (right), respectively.

## Normas de referencia

UNE 41805-8:2009 Diagnóstico de edificios. Parte 8: Estudio patológico de la estructura del edificio. Estructuras de madera.

UNE-EN 56546:2022: Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de frondosas.

UNE-EN 56544:2022 Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.

UNE EN 460: 2023 Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Guía para determinar las prestaciones.

UNE-EN 335:2013 Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Clases de uso: definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera.

UNE-EN 13183-2:2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica.

### 3. Riesgos asociados al fuego

El fuego es un riesgo que debe tenerse en cuenta a nivel de proyecto en las estructuras de madera, debiendo considerarse como una acción extraordinaria en el cálculo de la estructura y con el objeto de poder evacuar el edificio en un tiempo suficiente.

Comparativamente a otros materiales estructurales, la madera garantiza una seguridad estructural muy buena sin necesidad de protección adicional exógena debido a que el proceso de carbonización a velocidad constante frente a una alta carga de fuego hace predecible y calculable el tiempo en que el elemento estructural seguirá manteniendo la integridad requerida.



Fuente: [guides.firedynamicstraining.ca](https://guides.firedynamicstraining.ca)

La madera y los materiales derivados son combustibles, por lo que en caso de incendio contribuyen al fuego en mayor o menor medida dependiendo de la especie y otras características del material. El hecho de su combustibilidad no supone sin embargo un peligro de forma automática pues el éxito e intensidad en la combustión, depende de la presencia suficiente de 3 factores que permitan que la reacción química se produzca. Estos tres factores cuya presencia es ineludible para que se mantenga la reacción al fuego son:

1. Oxígeno, que es el comburente principal en cualquier incendio convencional.
2. Combustible, por ejemplo, la madera.
3. Calor, nivel de energía del entorno de combustión que será capaz de mantener la reacción química entre Combustible y Comburente.

Sin la presencia suficiente de cualquiera de estos 3 factores, el fuego se autoextingue, al no ser capaz de sostener la reacción química de combustión.



Fuente: <https://fire-risk-assessment-network.com/>

Entender las relaciones entre estos factores es esencial para predecir el comportamiento al fuego de una estructura de madera. Por ejemplo. En el caso de un edificio con estructura de madera, si la carga de fuego adyacente a los elementos estructurales es grande por haber objetos o materiales de combustión muy energética en volúmenes suficientes, capaces de iniciar la combustión de dicha estructura y mantener la temperatura de fuego, la estructura seguirá ardiendo y reduciendo su sección hasta colapsar por sección insuficiente. Sin embargo, si la sección estructural es suficientemente grande, sin indentaciones, y demás, y los objetos cercanos al elemento estructural no cuentan con una carga de fuego suficiente en tiempo o intensidad, la carbonización superficial de la madera auto-extinguirá el fuego al no existir temperatura suficiente que mantenga la reacción de combustión. Esto ocurriría similarmente si la cantidad de oxígeno se reduce hasta niveles de rotura de la reacción química.

Los siguientes factores son desfavorables en el comportamiento a fuego en elementos estructurales de madera:



- Secciones con relación superficie/volumen elevado, (secciones de pequeñas dimensiones expuestas al fuego).
- Aristas vivas y secciones con partes estrechas.
- Fendas en la madera.
- Densidad baja de la madera.

### 3.1. Requisitos de Resistencia al fuego de elementos estructurales de madera

Se considera que la resistencia al fuego de un elemento estructural principal del edificio (incluidos: forjados, vigas y soportes), es suficiente si se cumple alguna de las siguientes 2 opciones, siendo lo habitual justificarlo por la opción a):

- alcanza la clase indicada en la tabla 3.1 o 3.2 que representa el tiempo en minutos de resistencia ante la acción representada por la curva normalizada tiempo temperatura, o
- soporta dicha acción durante el tiempo equivalente de exposición al fuego indicado en el anejo B del DB-SI del CTE.

**Tabla 3.1 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales**

Uso del sector de incendio considerado <sup>(1)</sup>	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		<15 m	<28 m	≥28 m
Vivienda unifamiliar <sup>(2)</sup>	R 30	R 30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120 <sup>(3)</sup>	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120 <sup>(4)</sup>		

<sup>(1)</sup> La resistencia al fuego suficiente de un suelo es la que resulte al considerarlo como techo del sector de incendio situado bajo dicho suelo.

<sup>(2)</sup> En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

<sup>(3)</sup> R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

<sup>(4)</sup> R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

**Tabla 3.2 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales de zonas de riesgo especial integradas en los edificios <sup>(1)</sup>**

Riesgo especial bajo	R 90
Riesgo especial medio	R 120
Riesgo especial alto	R 180

<sup>(1)</sup> No será inferior al de la estructura portante de la planta del edificio excepto cuando la zona se encuentre bajo una cubierta no prevista para evacuación y cuyo fallo no suponga riesgo para la estabilidad de otras plantas ni para la compartimentación contra incendios, en cuyo caso puede ser R 30.

La resistencia al fuego suficiente de un suelo es la que resulte al considerarlo como techo del sector de incendio situado bajo dicho suelo

La estructura principal de las cubiertas ligeras, (aquellas cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no superen 1kN/m<sup>2</sup>), no previstas para ser utilizadas en la

evacuación de los ocupantes y cuya altura respecto de la rasante exterior no exceda de 28 m, así como los elementos que únicamente sustenten dichas cubiertas, podrán ser R 30 cuando su fallo no pueda ocasionar daños graves a los edificios o establecimientos próximos, ni comprometer la estabilidad de otras plantas inferiores o la compartimentación de los sectores de incendio.

### **3.2. Aspectos a tener en cuenta para garantizar la resistencia al fuego de los elementos estructurales de madera**

Anejo E del DB-SI (Seguridad en caso de Incendio) del Código Técnico de la Edificación

Se considera que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, sección, punto o de una unión entre elementos, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.

$$E_d \leq R_d \quad (4.2)$$

siendo

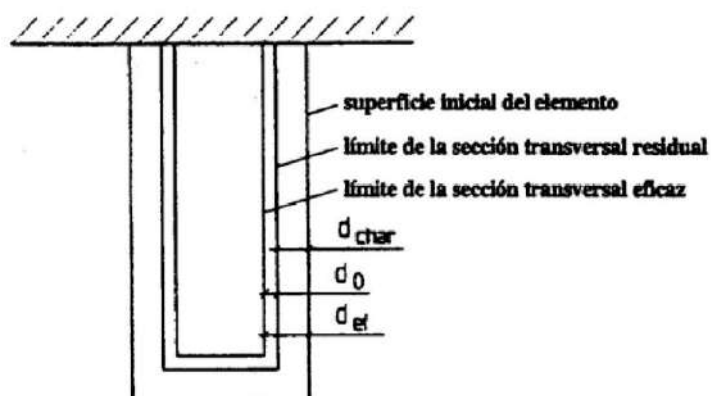
$E_d$  valor de cálculo del efecto de las acciones  
 $R_d$  valor de cálculo de la resistencia correspondiente

De cara a garantizar la resistencia al fuego de los elementos estructurales de madera se debe comprobar la sección resistente mediante alguno de los métodos indicados en el CTE, DB SI.

Uno de los métodos indicados en la normativa, y que recoge el CTE DB-SI en su Anexo E, es el método de la sección reducida que consiste en comprobar la resistencia de una sección reducida de madera, obtenida eliminando de la sección inicial la profundidad eficaz de carbonización,  $d_{ef}$ , en las caras expuestas, alcanzada durante el periodo de tiempo considerado

- a)  $d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$
- b)  $d_0$  de valor igual a 7 mm
- c)  $k_0$  de valor igual a 1 para un tiempo,  $t$ , mayor o igual a 20 minutos y  $t/20$  para tiempos inferiores, en el caso de superficies no protegidas o superficies protegidas cuyo tiempo del inicio de la carbonización,  $t_{ch}$ , sea menor o igual que 20 minutos. Para superficies protegidas cuyo tiempo del inicio de la carbonización,  $t_{ch}$ , sea mayor que 20 minutos se considerará que  $k_0$  varía linealmente desde cero hasta uno durante el intervalo de tiempo comprendido entre cero y  $t_{ch}$ , siendo constante e igual a uno a partir de dicho punto.





Siendo  $d_{char,n}$  la profundidad carbonizada nominal de cálculo en una dirección.

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

siendo:

$\beta_n$  velocidad de carbonización nominal. Se determinará de acuerdo con E.2.3;  
 $t$  tiempo de exposición al fuego.

**Tabla E.1. Velocidad de carbonización nominal de cálculo,  $\beta_n$ , de maderas sin protección**

	$\beta_n$ (mm/min)
<b>Coníferas y haya</b>	
Madera laminada encolada con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,70
Madera maciza con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,80
<b>Frondosas</b>	
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica de $290 \text{ kg/m}^3$ <sup>(1)</sup>	0,70
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,55
<b>Madera microlaminada</b>	
Con una densidad característica $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,70

<sup>(1)</sup> Para densidad característica comprendida entre 290 y 450  $\text{kg/m}^3$ , se interpolará linealmente

Para profundizar a mayores con el método de cálculo de la sección reducida, se puede incluir el factor  $k_{fi}$  y el valor de  $K_{mod}$  que permite llevar a tomar valor igual a la unidad.

La protección activa consiste en implantar sistemas de detección, alerta y extinción de incendios. La protección pasiva puede ser química o física.

La protección química se basa en la aplicación de productos químicos, normalmente productos intumescentes que aportan a la madera un tiempo extra de protección frente a fuego. La protección física se consigue encapsulando la madera recubriéndola con distintos materiales, como pueden ser:

- Protección mediante placas de yeso o mantas de lana de roca que tienen un muy buen comportamiento ante el fuego. Ver especificaciones en el DB-SI para validar soluciones.

- b) Revestimientos de protección consistentes en una o varias capas de tableros derivados de la madera o tableros de madera maciza.
- c) Otras protecciones que aún NO ostenten el marcado CE deberán disponer de ensayos por laboratorios acreditados por una entidad oficialmente reconocida conforme al Real Decreto 2200/1995 de 28 de diciembre, modificado por el Real Decreto 411/1997 de 21 de marzo.

El CTE indica cómo calcular la velocidad de carbonización en elementos de madera con protección física.

### 3.3. Cálculo de acciones en situación de incendio

El cálculo de las acciones es igual que para el resto de los materiales.

Se indica a continuación lo indicado en el apartado 5 del DB SI 6 del CTE para la determinación de las acciones de cálculo en situación de incendio:

Como simplificación para el cálculo se puede estimar el efecto de las acciones de cálculo en situación de incendio a partir del efecto de las acciones de cálculo a temperatura normal, como:

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} E_d \quad (5.2)$$

siendo:

$E_d$  efecto de las acciones de cálculo en situación persistente (temperatura normal);

$\eta_{fi}$  factor de reducción.

donde el factor  $\eta_{fi}$  se puede obtener como:

$$\eta_{fi} = \frac{G_K + \psi_{1,1} Q_{K,1}}{\gamma_G G_K + \gamma_{Q,1} Q_{K,1}} \quad (5.3)$$

donde el subíndice 1 es la acción variable dominante considerada en la situación persistente.

Debe obtenerse para cada una de las combinaciones de hipótesis, el factor de reducción correspondiente a partir de la acción variable dominante.

En la fórmula anterior en el denominador se debe utilizar los esfuerzos con las mayoraciones pertinentes del cálculo sin tener en cuenta la situación de fuego.

Los coeficientes de simultaneidad son los indicados en la tabla 4.2 del DB SE del CTE:

**Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad ( $\psi$ )**

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría F)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría G)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Deberá comprobarse, de acuerdo con el apartado 4.2 del DB SE:

Se considera que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, sección, punto o de una unión entre elementos, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición:

$$E_d \leq R_d \quad (4.2)$$

siendo

$E_d$  valor de cálculo del efecto de las acciones

$R_d$  valor de cálculo de la resistencia correspondiente

Los valores de los coeficientes parciales de resistencia en situación de incendio deben tomarse iguales a 1 ( $\gamma_M = 1$ ). Cuidado, el  $k_{mod}$  no afecta las acciones si no a los valores de resistencia de la madera. Los coeficientes y valores necesarios para el cálculo se incluyen en el apartado de cálculo según el método de la sección reducida.

### 3.4. Uniones de madera en situación de incendio

Dentro del DB-SI se recogen los parámetros a tener en cuenta en el cálculo de uniones de madera en situación de incendio:

El DB-SI 6 (Resistencia al fuego de la estructura): Es el marco general que te dice cuánto tiempo (R30, R60, etc.) debe aguantar tu estructura.

El Anejo E (Resistencia al fuego de los elementos estructurales de madera): contiene el Apartado E.2.4 - Uniones. Aquí se definen las reglas específicas para que las uniones no sean el punto débil del edificio en un incendio. Este apartado es crítico porque las uniones metálicas (pernos, placas, tirafondos) se calientan mucho más rápido que la madera. El CTE permite dos caminos:

- Uniones con elementos de fijación no expuestos: Explica cómo deben ser los espesores de las piezas de madera laterales o los tapones (pellets/embellecedores de madera) para que el metal quede protegido del calor.
- Uniones con elementos de fijación expuestos: Da las reglas de cálculo para cuando el metal "se ve". En estos casos, la capacidad de la unión cae drásticamente y suele obligarte a sobredimensionar mucho o a proteger con pinturas intumescentes o placas de yeso.

La metodología que afecta a la madera tanto en cálculo estructural como en su comportamiento al fuego que está incorporada al CTE se puede considerar prácticamente como una traslación parcial del Eurocódigo 5 (EN 1995-1-2).

Si el Anejo E del CTE se te queda corto, la normativa española te permite saltar al Eurocódigo 5 Parte 1-2.

Es mucho más detallado en el cálculo de uniones madera-acero-madera y define con precisión el tiempo de fallo de los conectores metálicos basándose en el flujo de calor.

Los sistemas de unión deben tener al menos la misma resistencia al fuego que la correspondiente a la propia pieza. Para mejorar su comportamiento se recurre a la protección del herraje con productos ignifugantes, a su ocultación dentro de la pieza de madera, o al aumento de su espesor.

Hablamos de uniones entre elementos expuestos a la acción representada por la curva normalizada tiempo-temperatura realizadas con clavos, pernos, pasadores y conectores de anillo y de placa de acuerdo con la norma UNE EN 912:2000 y con barras encoladas. Mientras en el texto no se indique lo contrario, las reglas son solo de aplicación para resistencias al fuego no mayores que R 60.

### **3.5. Aspectos para tener en cuenta en el diseño en proyecto**

En general, el trabajo de diseño de un edificio para abordar el cumplimiento del DB-SI del CTE, es idéntico en cualquier material que se utilice, dado que el propio Código Técnico de la Edificación es un documento de exigencia prestacional en todos los parámetros. Esto significa que cualquier exigencia en los factores de sectorización, en los valores R, E, o I, que se exija en cualquier situación de uso del edificio para cualquier tipo de estancia, es extensiva a cualquier tipo de materiales utilizados y no se diferencian, si son alcanzables, los parámetros exigibles entre materiales.

Por ello, el comportamiento al fuego de una estructura de madera o de un elemento de revestimiento, estará supeditada al igual que el resto de los materiales al cumplimiento de las exigencias del CTE en todos y cada uno de los Documentos Básicos, siendo importante siempre velar por el correcto cumplimiento de:

- Sectorización adecuada.
- Colocación de muros/puertas cortafuegos.
- Cajas de escalera y ascensores que comuniquen sectores de incendio o zonas de riesgo especial con resto de edificio estarán compartimentados.
- Supresión de aristas vivas y ángulos cerrados en secciones de madera.
- Selección de elementos de gran sección de madera en caso de estar expuesta a la vista. La sección de la madera debe ser la que resulte de las comprobaciones estructurales oportunas, si por el resultado de cálculo al fuego, resultase excesiva, se buscarán alternativas como la aplicación de medidas de protección pasiva o activa, más económicas.
- Piezas metálicas de conexión ocultas en interior de la madera.
- Debe prestarse atención en el caso de chimeneas, conducciones eléctricas, conductos ventilación o aparatos de calefacción.
- Protección pasiva de elementos estructurales con elementos de sacrificio que retarden el arranque de la combustión en caso de incendio.
- Utilización de sistemas de extinción automática para casos específicos.
- En fachadas ventiladas, compartimentación por medio de deflectores físicos en cada planta y hueco.

## **4. Riegos asociados a la estética**

La aparición de defectos estéticos puede parecer de menor importancia frente al resto de elementos de riesgo de este documento, pero sin duda son los más evidentes y por tanto, los que pueden acarrear más reclamaciones.

Esto es especialmente cierto en un material natural como lo es la madera, que dependiendo de la especie y de la calidad específica seleccionada de una parte de un árbol concreto, puede cambiar ostensiblemente.

### **4.1. Elementos de afección estética en la madera expuesta**

Es importante reseñar que estaremos hablando en general una de afección estética tan sólo en el caso de maderas a la vista, y no de maderas ocultas y protegidas de la intemperie, aunque también podrían producirse daños estéticos en maderas vistas, aunque estén protegidas de la intemperie, sería el caso por ejemplo de madera azulada que se deje vista y que se haya humedecido previamente.

Algo esencial para establecer las bases de lo que estéticamente se considere normal y por tanto, no pueda constituirse como base para una reclamación, es el comportamiento normal de las superficies de madera y sus geometrías según su nivel de exposición al entorno en el que se sitúa. Por ello es esencial esclarecer cómo se ve afectada por el nivel de exposición una madera sin protección:

- fotodegradación por exposición a la luz. La luz es capaz de modificar la química de la madera, hasta el punto en que degrada de forma muy efectiva especialmente a la lignina. La radiación ultravioleta penetra en la madera expuesta y hace reaccionar las moléculas de lignina, disgregándolas poco a poco. En las zonas de madera de primavera, su baja densidad hace que los fotones penetren más profundamente y la degraden más rápidamente. Los “anillos” de madera de verano, al tener una densidad mayor, se desgastan a menor velocidad. Eso tiene como consecuencia que las maderas más densas sean más durables en el tiempo frente a la fotodegradación.
- Deslavado por arrastre de la lluvia. Las superficies de la madera expuestas al sol y a la lluvia tendrán una degradación aún más rápida. Esto se debe a que, la lignina foto degradada sin más acciones de meteorización, se convierte en una capa de protección para la que se sitúa debajo, alargando su durabilidad. Sin embargo, cuando la superficie de madera se encuentra expuesta a la lluvia, ésta arrastra la lignina degradada y la deslava, quedando expuesta la celulosa, que es más resistente a la fotodegradación, confiriéndole a la madera expuesta ese típico color grisáceo y plateado. Las consecuencias de esta degradación natural son del todo conocidas:
  - Resaltado de las texturas de la madera. La combinación del sol y la lluvia, producen el desgaste paulatino del material, con ello, la madera más densa va sobresaliendo y la menos densa, va quedando rebajada, en un efecto estético similar al que surge del desgastado con cepillo de púas de metal.





- Agrisado de la madera. La paulatina desaparición superficial de la lignina hace que afloren las fibras de celulosa, de color gris blanquecino. Con ello, la madera va obteniendo un color tanto más gris, cuanto más se vea afectada por la meteorización lluvia+sol.



Sector de fachada protegida por vuelo de cubierta en la que se aprecia una zona superior con una afección tan solo de suciedad ambiental, una zona intermedia afectada por los UV del sol, y una más baja por la combinación UV+deslavado por la lluvia.

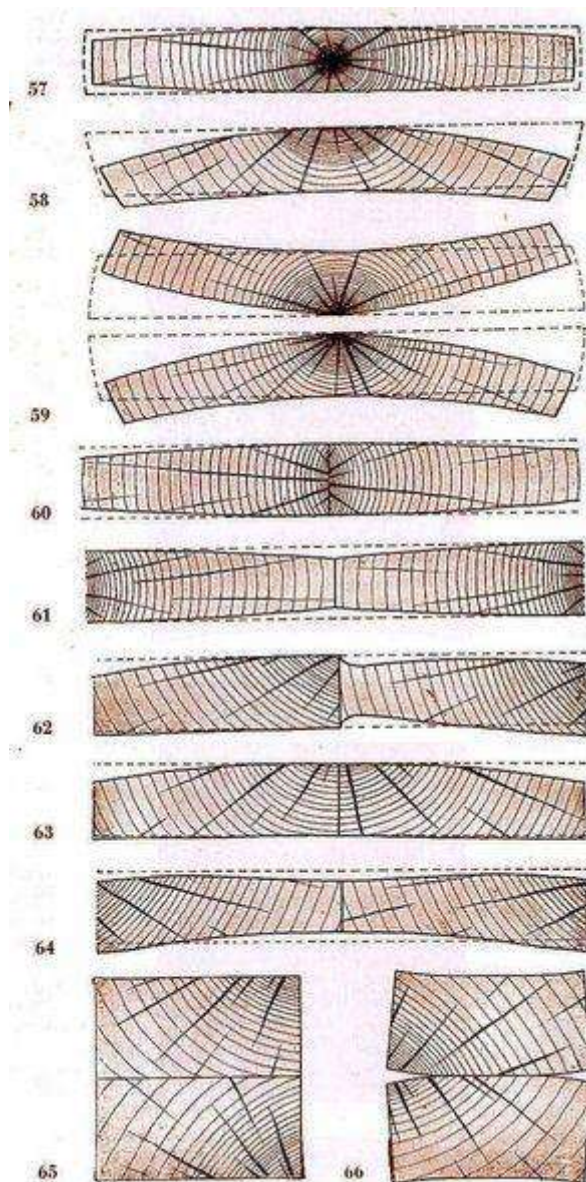
- Efectos de la hinchazón y merma de la madera.
  - Deformaciones en la sección. La madera es un material de naturaleza higroscópica, es decir, que interacciona con la humedad relativa en la que se encuentra. Así pues, si está libremente expuesta a la intemperie, su contenido

de humedad variará según lo haga la humedad relativa media a la que esté expuesta. Esto tiene como consecuencia que la madera tendrá un comportamiento de hinchazón relativa cuando suba la humedad del ambiente y una merma o contracción, cuando ésta baje. El contenido de humedad también es función, aunque en mucha menor medida, de la temperatura.

- Así, la geometría de la madera puede variar y llegar a deformarse al estar muy seca, especialmente, si la pieza se instaló sin un buen secado previo a la puesta en obra. En cualquier caso, estas deformaciones son naturales y no tienen consecuencias en lo que a resistencia estructural u otras consideraciones cualitativas se refiere.

Hay que tener en cuenta que la humedad de equilibrio de la madera aserrada varía de forma muy importante dependiendo de dónde se instale, de forma que el producto de madera puede haber venido perfectamente seco según norma, pero aun así tenga deformaciones y/o fendas producidas por un ambiente extremadamente seco.



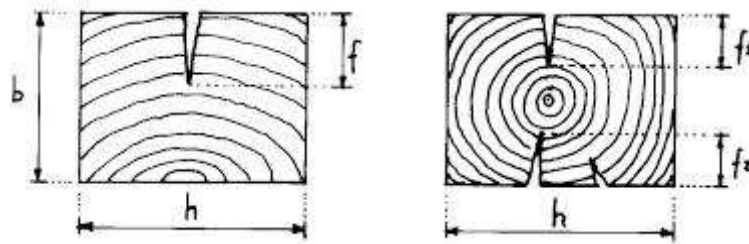


La madera se deforma con el secado de forma distinta en sus tres direcciones naturales, en la transversal, en la radial y en la longitudinal. Eso produce una tendencia natural a la deformación geométrica respecto a la pieza húmeda aserrada. En el CTE, concretamente en el documento CTE DB SE-M (Seguridad Estructural: Madera), dentro del Anejo C, (Propiedades de los materiales), en su apartado C.1, (Generalidades), se consideran las "variaciones dimensionales de origen higrotérmico" y aparecen unos valores de referencia para calcular las variaciones dimensionales producidas por la hinchazón y merma.

En el gráfico se muestra una exageración de las deformaciones que tendrían unas tablas aserradas y listones encolados a nivel ilustrativo. Si la madera es aserrada con la humedad según normativa, en un lugar de exposición de mucho sol y poca humedad, podría alcanzarse algo parecido, a menos que el secado previo a la fabricación sea más alto.

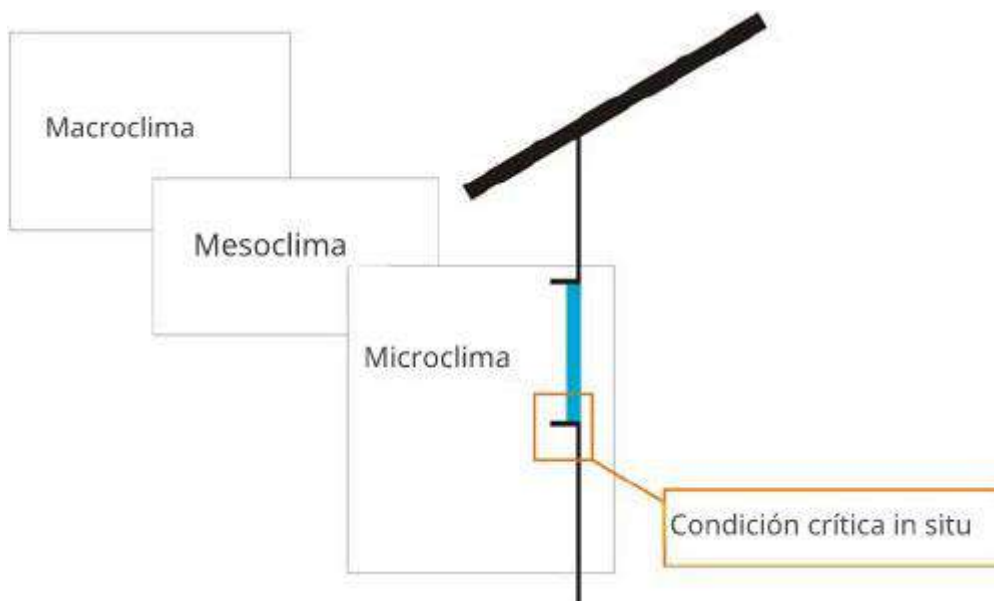
- **Fendas de secado.** Las mal llamadas grietas que aparecen en los postes, vigas, etc., son el resultado directo del proceso de secado en situaciones con exposición muy alta a una muy baja humedad relativa y puede suceder tanto en el interior como en el exterior. Las fendas de secado se corresponden al volumen de agua que ha desaparecido de la madera en ese proceso de secado. Cuanto mayor es una pieza maciza de madera, mayores serán las fendas de secado que se generen en un contexto de baja humedad de equilibrio. Las fendas de secado, aunque puedan asustar a personas sin conocimientos en madera, no son algo de relevancia en la resistencia estructural, aunque sí afectan a la durabilidad en caso de incendio y a la durabilidad natural si se encuentran en la intemperie. En positivo, es relevante indicar que en productos tecnológicos como la madera laminada encolada, que ajustan el espesor de las láminas a encolar, las fendas se reducen de forma

importante al igual que las deformaciones respecto al equivalente en madera maciza.



- Exudaciones de bolsas de resina. Muchas maderas son resinosas y por tanto presentan exudaciones que se fluidifican cuando la temperatura a la que están expuestas sube. Esto es especialmente frecuente en piezas expuestas al sol directo, sobre todo en horizontal. No tiene ninguna importancia más allá del hecho de que pueden manchar hasta que las bolsas se vacían. En el caso de uso en suelos, pasamanos de barandillas, etc., debería evitarse el uso de maderas resinosas, a menos de que hayan pasado un proceso de termo tratamiento industrial. Es importante indicar que influyen en los niveles de exudación factores de diseño como la orientación o el color del producto de acabado escogido.

En general, las condiciones estéticas y de durabilidad de una superficie cualquiera de madera, dependerá de forma relevante del nivel de exposición a los distintos factores climáticos a los que esté expuesta. Esto es cierto para cualquier material expuesto a la intemperie y es especialmente manifiesto en los biomateriales, siendo el comportamiento de la superficie del material directamente proporcional a la composición de distintos niveles de afección.



Superposición de factores de distinta escala que afectarán a la vida útil y la apariencia de un material expuesto al exterior (Fuente: Researchgate, PhD Lone Ross).

## 4.2. Otros elementos de afección estética

- Azulado de la madera. Existe una amplia familia de hongos cromógenos cuyos ataques no afectan de forma apreciable a la calidad de la madera desde el punto de vista estructural, pues se alimentan de los contenidos de las células, pero no de las paredes celulares. Las hay de tonos azules, negros y grises. Son estéticamente indeseables en acabados de madera vista, su incidencia puede limitarse si la madera se lasura en tonos oscuros o si se pinta. Una vez la madera se seca, quedan las manchas, pero la actividad de los hongos desaparece para siempre de forma irreversible. Si un material estructural se va a instalar para quedar visto al natural, es importante pedir calidad vista al distribuidor, de lo contrario, es recomendable el uso de la calidad industrial, más económica.
- Manchas por deslavado de taninos. Los taninos son polifenoles que se encuentran en la madera en distintas concentraciones según las especies. Los taninos pueden aflorar y deslavar:
  - En presencia de agua dejando unos churretes y manchas en las zonas afectadas que una vez secas, quedarán vistas.
  - En contacto con el hierro y según qué aceros.

No tiene ninguna consecuencia más allá de las estéticas y puede solventarse con un tratamiento antitaninos preventivo, así como su tratamiento posterior de las manchas con el mismo tratamiento, siempre que se tenga en cuenta que, en ocasiones con una mala aplicación del producto se pueden generar problemas al corroer, por ejemplo, los elementos de fijación de una fachada pudiendo producir el desprendimiento puntual de lamas.

- Mohos superficiales. La presencia de mohos en cualquier superficie de cualquier material es indicadora de un aporte de agua líquida o de una elevada humedad ambiental y de la incapacidad de dicho ambiente de eliminar la misma por ventilación. La existencia persistente de mohos, bien en el exterior, bien en interior, son una llamada de alarma que delata una situación de saturación de agua en el soporte que va a llevar a la degradación acelerada del material, con lo que el contenido de humedad de la madera es tan alto que las hifas del hongo pueden aflorar, condiciones ideales que permitirán también que los cerambícidos y xylófagos proliferen. Forma de actuación:
  - La aparición superficial de mohos es una señal importante de alarma en cualquier elemento estructural. Se deberá recurrir a un peritaje inmediato para conocer las razones, el alcance y las medidas correctoras.
  - La aparición en elementos superficiales de revestimiento no es tan relevante y su retirada/limpieza es simple con el uso de cloro, vinagre o cualquier ácido especial para tal efecto, pero si denota síntomas de ventilación insuficiente

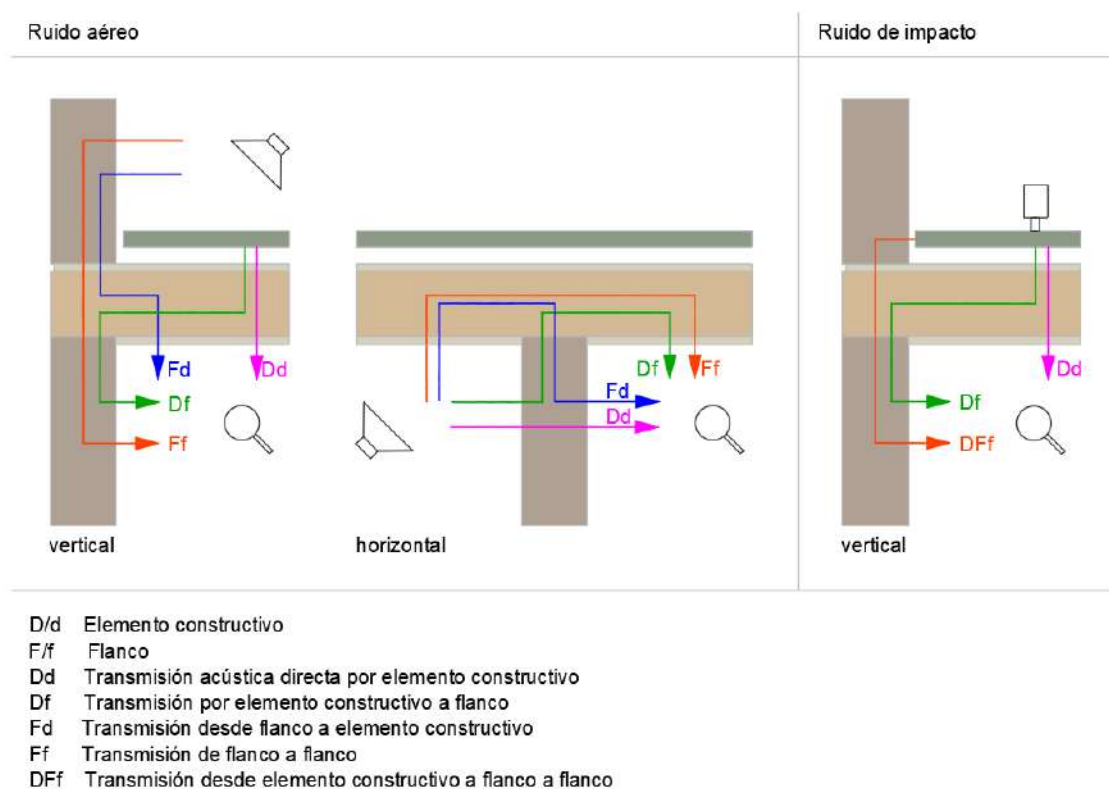
de las superficies afectadas. No hay que olvidar que los mohos son capaces de crecer en cualquier soporte sucio, con lo que una adecuada limpieza es una buena garantía de reducción de ataques.

- Indentaciones, rozaduras, quemaduras, etc. La ligereza y blandura de las maderas frente a los hormigones o metales constituyen una gran virtud desde muchos puntos de vista, algo propio de los materiales orgánicos, suaves, cálidos y blandos. Sin embargo, también suponen una exigencia de trato más cuidadoso en aquellos elementos que vayan a estar a la vista cercana del usuario. Se recomienda que los elementos que queden a la vista cercana sean siempre protegidos y queden así durante todo el proceso de la obra para evitar verse afectados por la incidentalidad propia de las mismas. Entre otras, podemos encontrarnos con:
  - *Indentaciones*. Producidas por golpes en flejado incorrecto, transporte, impactos durante la obra, etc.
  - Rozaduras por arrastre. Especialmente en suelos, ocurren con frecuencia estas situaciones durante el desarrollo de obras y amueblados.
  - *Quemaduras*. Equipos de los distintos oficios pueden tener la costumbre de soldar, cortar metales, etc. sobre o cerca de materiales inorgánicos que no sufren consecuencias del goteo de metal caliente o de la caída de chispas al rojo vivo. La madera es estéticamente bastante sensible a las quemaduras. Se evitará por tanto cualquier operación de este tipo sin la cobertura previa de la madera vista del lugar en el que se desarrolle.
  - *Manchas químicas*. Algunos productos tienen la capacidad de penetrar a fondo en la madera, dejando manchas irreparables en ella. Se evitará el uso de dichos productos en la cercanía de maderas sin recubrimiento protector y siempre se protegerá suficientemente cuando sea inevitable.
  - Saltos de tono de color por exposición desigual al sol de los materiales acopiados. La madera se ve afectada en su color por el sol, tan es así que, en algunas especies, un día de exposición al sol basta para generar diferencias apreciables entre distintas piezas o en toda la mitad de estas, como una sombra de distinto color. Esto supone que, en su colocación al interior, el emparejamiento de color pueda tardar, y que haya reclamaciones. Se recomienda no dejar expuesto al exterior ningún material de revestimiento de madera que vaya a quedar en el interior, y a ser posible, que sea acopiada en el interior en el que se va a colocar, para que la humedad del material se acomode a la de la estancia de colocación final poco a poco.

## 5. Riesgos asociados a la acústica

### 5.1. Explicación de términos y conceptos básicos de acústica de edificios

La acústica de edificios se ocupa principalmente de dos tipos de fuentes sonoras: el sonido aéreo y el estructural. El llamado sonido aéreo provocado, por ejemplo, por el habla o la música, se propaga inicialmente a través de ondas sonoras en el aire. Si los techos son estimulados por impulsos mecánicos, como pisadas, el funcionamiento de electrodomésticos, etc., hablamos de una forma especial de sonido transmitido por estructuras, el sonido de impacto. La excitación vibratoria puede transmitir las respectivas ondas sonoras al aire y/o a los componentes vecinos y, de este modo, propagarse también a gran distancia en el interior del edificio. Por esta razón, la verificación del aislamiento acústico no sólo tiene en cuenta la transmisión del sonido a través del propio componente separador (componente excitado), sino también a través de los componentes flanqueantes (componentes vecinos) (figura 1). Se aplica la siguiente regla: cuanto mejores sean las prestaciones de aislamiento acústico del componente separador, más significativa será la influencia de los componentes colindantes en el resultado global.



### 5.2. Percepción del sonido y gamas de frecuencias

El ruido, cuya transmisión debe evitarse, es en realidad un sonido molesto o desagradable, que a su vez se compone de muchas frecuencias diferentes. En los seres humanos, se



supone audible la gama de frecuencias de 16 Hz a 16.000 Hz (máx. 20.000 Hz). Sin embargo, la percepción real puede ser muy diferente. Depende de los siguientes aspectos

- Dependencia frecuencial de la audición: a un nivel de presión sonora constante (presión sonora = valor efectivo de la amplitud de las vibraciones sonoras), los sonidos de frecuencias bajas se perciben como considerablemente más silenciosos que los sonidos de frecuencias altas.
- diferencias individuales en la capacidad auditiva, por ejemplo, en función de la edad
- Percepción subjetiva: por ejemplo, puede escuchar su música favorita al máximo volumen sin sentirse molesto, pero el ruido de su vecino se vuelve rápidamente molesto, aunque sea relativamente silencioso.

Además, las propiedades de aislamiento acústico de un componente difieren en función de la frecuencia, es decir, dependen de la frecuencia. Junto con los aspectos mencionados anteriormente, esto hace que la definición de los requisitos y la evaluación de las prestaciones de aislamiento acústico de un componente sean muy complicadas. Por ello, los criterios de evaluación se mejoran y desarrollan constantemente. Una base importante fue la introducción de los denominados valores de número único, que describen el aislamiento acústico de un componente mediante un único número y constituyen la base de la normalización actual. Sin embargo, resulta problemático que los valores de un solo número existentes no reflejen el rango de audición completo de los seres humanos, sino que sólo se refieran al rango de frecuencias de 100 Hz a 3150 Hz.

Esto significa que los usuarios de edificios siguen percibiendo como molestas las fuentes sonoras con grandes componentes de frecuencia de las frecuencias por debajo de 100 Hz no cubiertas por el valor numérico único, aunque el valor numérico único del componente del edificio no lo refleje según la norma.

### **5.3. Problema: frecuencias bajas**

El ruido de los aviones y, sobre todo, el ruido de los pasos (ruido de impacto), por ejemplo, se producen en gran medida en las frecuencias bajas, por debajo de los 100 Hz. Especialmente en la gama de frecuencias bajas, existe el inconveniente adicional de que la experiencia ha demostrado que el rendimiento del aislamiento acústico en este espectro de frecuencias es inferior en los componentes de construcción convencionales en todos los métodos de construcción, no sólo en la construcción en madera, y los niveles aquí asumen valores significativamente más altos. Sin embargo, es posible tener en cuenta las frecuencias que faltan durante la planificación mediante los denominados valores de ajuste del espectro C. Aunque esto no se especifica en las normas, se recomienda encarecidamente para las frecuencias bajas, sobre todo en el caso del ruido de impacto.

Estos valores de ajuste del espectro pueden encontrarse para muchas bandas de frecuencias, pero para frecuencias inferiores a 100 Hz, sólo es relevante el valor característico con «l,50-2500» en el índice.

#### **5.4. Aislamiento acústico mediante el diseño del plano de planta**

Las zonas problemáticas típicas, las complicadas conexiones detalladas y los conflictos resultantes pueden evitarse eficazmente al diseñar el plano del piso separando las habitaciones que requieren protección de las zonas ruidosas clásicas. Así, es preferible que un dormitorio no esté junto al cuarto de baño del piso vecino, el hueco de la escalera o incluso el ascensor. También debe evitarse, en la medida de lo posible, situar las habitaciones que requieran tranquilidad en lados del edificio con fuentes de ruido externas importantes, como una carretera muy transitada en uno de los lados.

No hacerlo suele acarrear mejoras acústicas y, a más tardar, un aumento significativo de los costes durante el proceso de verificación del aislamiento acústico. Además, existe el riesgo de que posteriormente surjan reclamaciones a pesar del cumplimiento de unos buenos valores de aislamiento acústico normalizados, ya que, como se ha descrito, no todas las influencias están (o pueden estar) reflejadas en los valores de un solo número. Una distribución acústicamente favorable del espacio puede evitarlo, ya que está demostrado que influye más en el bienestar acústico de los ocupantes que el diseño estructural de los componentes del edificio.

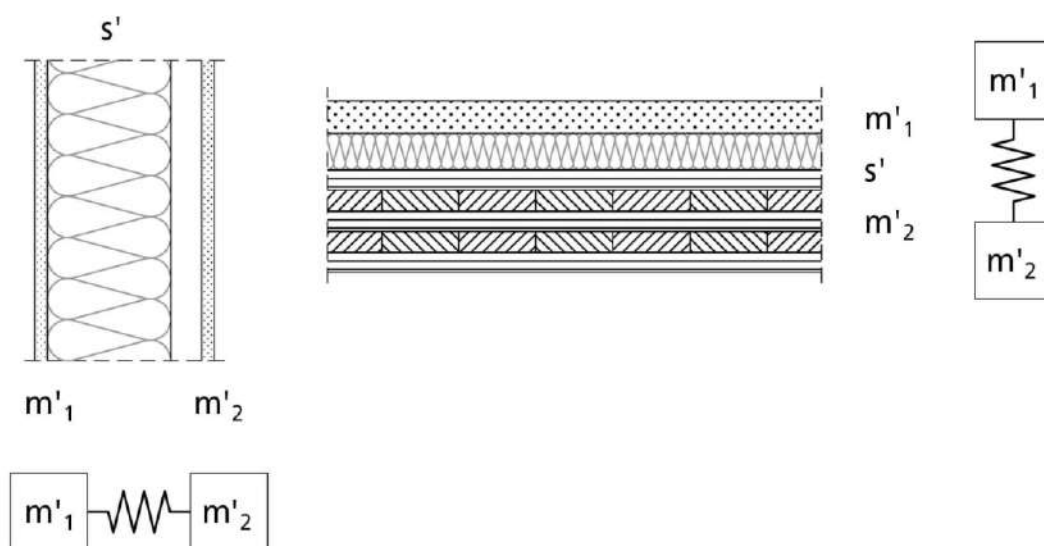
#### **5.5. Estanqueidad y evitación de cavidades**

Un requisito básico en el aislamiento acústico, al igual que en el aislamiento térmico y contra la humedad, es el diseño hermético de la envolvente del edificio para evitar la transmisión directa del sonido a través del aire. Incluso las aberturas más pequeñas y las juntas a tope tienen una influencia considerable y no deben ignorarse. Las cavidades en paredes y techos deben rellenarse generalmente con un material aislante fibroso, blando y no resistente a la presión -por ejemplo, lana mineral, fibra de madera o celulosa- que tenga una resistencia al flujo longitudinal de  $5 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ . Los materiales aislantes aumentan la absorción acústica y amortiguan las resonancias perturbadoras.

La creación de derivaciones sonoras debidas a entrehierros laterales en el borde de las planchas aislantes o a cavidades restantes en el aislamiento por soplado debe evitarse en la fase de planificación haciendo hincapié en la importancia de estos detalles en los planos, entre otras cosas. También se debe tener cuidado de que el aislamiento no sea más grueso que la cavidad para que no presione contra el revestimiento y, por lo tanto, no acople las cáscaras que, de otro modo, vibrarían libremente. Para garantizar la instalación de los materiales aislantes por soplado, debe instalarse una lámina de protección contra goteo y un nivel de listón adicional bajo las vigas del techo. Los paneles planos tienen un efecto acústico desfavorable en este punto y deben evitarse.

## 5.6. El principio masa-muelle-masa

Además de las medidas básicas, naturalmente también influyen los componentes existentes. La mejor ayuda para aumentar el aislamiento acústico es supuestamente la masa, ya que ésta absorbe la energía sonora y reduce la transmisión de vibraciones. La construcción en madera, por otra parte, es un método de construcción relativamente ligero cuyas superestructuras habituales no pueden proporcionar un aislamiento acústico adecuado por pura masa. Sin embargo, la aplicación externa de masa adicional puede reducir la penetración de la energía sonora en la estructura y/o aprovechar el efecto de aislamiento acústico de las múltiples cáscaras impidiendo la transmisión del sonido mediante el denominado desacoplamiento acústico. Un principio básico importante para ello es el sistema masa-resorte-masa: dos masas,  $m'_1$  y  $m'_2$ , se acoplan como cáscaras exteriores a través de un resorte, es decir, una capa de aire estacionaria o un panel aislante blando. El aislamiento acústico viene determinado por la rigidez dinámica  $s'$  del muelle, las masas  $m'_1$  y  $m'_2$  y la rigidez de las envolturas.



Todo sistema tiene al menos una frecuencia denominada de resonancia  $f_0$ , en la que las dos masas vibran en direcciones exactamente opuestas y alcanzan así la máxima deflexión, lo que tiene un efecto muy negativo en las propiedades acústicas del componente. Sin embargo, si las frecuencias de excitación se sitúan por encima de  $f_0$ , el aislamiento acústico mejora notablemente en comparación con los componentes monocasco del mismo peso. Por lo tanto, el objetivo es seleccionar un sistema en el que el rango de resonancia se encuentre preferiblemente en el rango de frecuencias más bajo (<100 Hz, mejor <50 Hz). Esto puede conseguirse con un muelle lo más blando posible, lo que puede lograrse con una mayor separación entre carcasas o una menor rigidez dinámica  $s'$  del muelle- y/o masas  $m'_1$  y  $m'_2$  mayores. A continuación, se explica cómo conseguir un buen aislamiento acústico en las construcciones de madera utilizando los componentes más importantes.



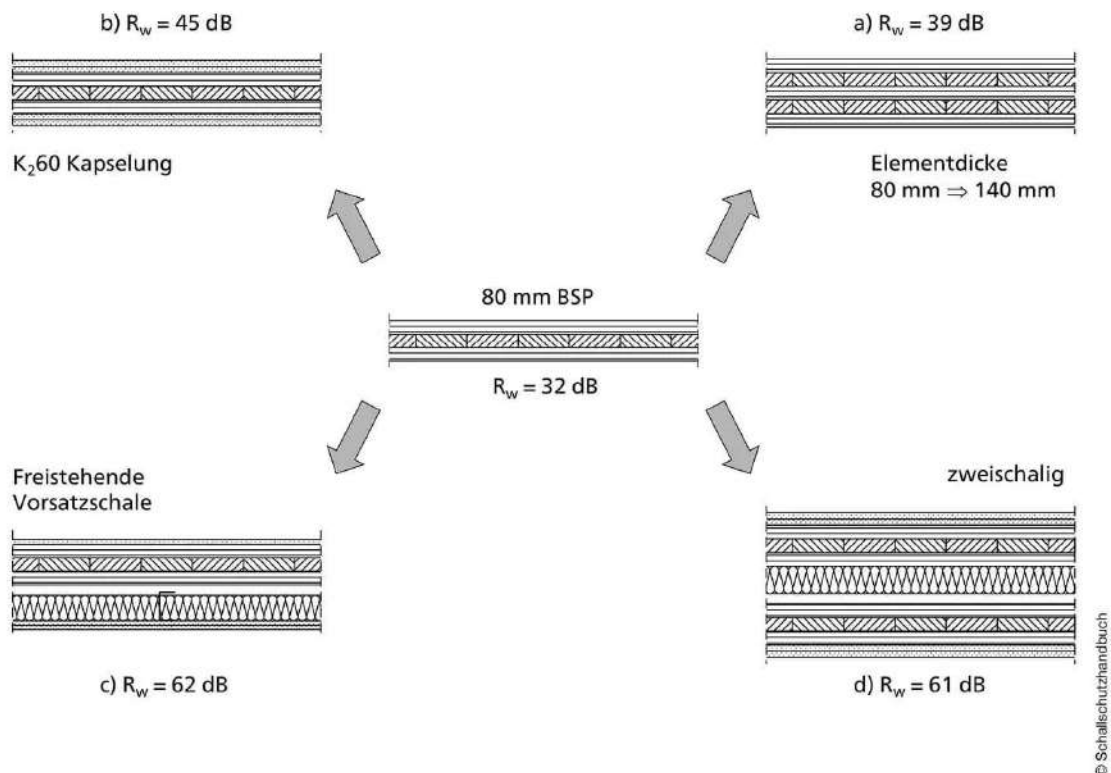
### **5.7. Aislamiento acústico en paredes de madera**

En las paredes de entramado de madera, los paneles aplicados directamente o sobre revestimientos reducen mejor la transmisión del sonido a través de la estructura si la masa por unidad de superficie es lo mayor posible y la rigidez a la flexión es baja. Esto significa que los revestimientos finos de varias capas tienen un efecto mayor que los revestimientos de una sola capa con la misma masa. Desde el punto de vista acústico, se recomienda la disposición de láminas de revestimiento para el desacoplamiento acústico, que también pueden utilizarse como niveles de instalación. Si se utilizan listones, deben disponerse verticalmente y no horizontalmente. Los rieles elásticos o fijaciones elásticas similares tienen un mejor efecto que las conexiones rígidas con listones, por ejemplo, pero siempre debe comprobarse la frecuencia de resonancia existente.

La mayor mejora acústica se consigue con cáscaras enfrentadas independientes. Los revestimientos de pared separados (revestimientos dobles) también tienen un efecto muy positivo en el aislamiento acústico debido al efecto de desacoplamiento. El aumento de la profundidad de la cavidad a más de 160 milímetros y el aumento de la distancia entre ejes de los montantes sólo tienen una importancia menor en comparación. En la siguiente figura se muestra una comparación de los efectos de las medidas de mejora.

### **5.8. Aislamiento acústico de paredes de madera maciza**

En el caso de las paredes de madera maciza, también resulta eficaz separar la pared en dos carcassas y disponer las carcassas enfrentadas. Además, el aumento de la masa por unidad de superficie del componente, incluido el revestimiento directo si es necesario, también puede ser útil en este caso para lograr un mejor aislamiento acústico.



## 5.9. Aislamiento acústico para techos con vigas de madera

### Solera flotante

La medida clásica de aislamiento acústico de impacto es la solera flotante, que se utiliza en casi todas partes y también se basa en el principio masa-resorte-masa. Sin embargo, aquí también suele haber margen de mejora. La masa puede aumentarse utilizando una solera lo más pesada posible. Debe elegirse un grosor mínimo de 50 milímetros para la solera húmeda, preferiblemente 80 milímetros o más. Cuanto más blando sea el material elegido, mejor será el aislamiento acústico de las placas de aislamiento acústico a ruido de impacto (por ejemplo, lana mineral o fibra de madera). El criterio de evaluación para ello es la denominada rigidez dinámica, por la que debe aspirarse a un valor de  $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$ . Para evitar puentes acústicos, debe preverse una barrera contra la humedad (lámina) entre la solera húmeda y la placa de aislamiento acústico a ruido de impacto. Las instalaciones no deben situarse en el aislamiento acústico de impacto. Deben instalarse en una placa de nivelación de altura (placa de aislamiento térmico) o en el contrapeso del techo bruto.

### Rellenos y pesos

La instalación de rellenos o pesos sirve para aumentar la masa. Para conseguir un aumento real del valor de aislamiento acústico, el grosor de la capa debe ser de al menos 30, pero preferiblemente  $\geq 60$  milímetros. Para ello son adecuados los rellenos no aglomerados con

fijación de la capa en panales de cartón o similares, así como las variantes elásticas, como los rellenos con látex o láminas que se asientan sobre adhesivo o arena. Debe procurarse que los agentes aglutinantes sean lo más elásticos posible. En principio, los rellenos no ligados o elásticos son más favorables que el lastrado de losas. En este caso deben evitarse los rellenos ligados rígidamente (por ejemplo, ligados con cemento), ya que no pueden deformarse y reducen significativamente el efecto de la masa adicional.

### **Falsos techos**

Con la ayuda de falsos techos, también se pueden conseguir mejoras significativas con techos de vigas de madera si se tienen en cuenta ciertos detalles. En lugar de estar montados rígidamente (por ejemplo, con rastreles), es mejor utilizar rieles elásticos o suspensiones elásticas para desacoplar la fijación, tener alturas de suspensión de al menos 100 milímetros si es posible y utilizar entablados pesados y de varias capas. Actualmente también existen en el mercado suspensiones con cojinetes elásticos que pueden ajustarse a la frecuencia natural para adaptarse a la situación de cada componente.

## **5.10. Aislamiento acústico para techos de madera maciza**

Con los techos de madera maciza la situación es completamente distinta. En este caso, los techos suspendidos pueden incluso influir negativamente en el aislamiento acústico. Por ello, los techos suspendidos sólo deben utilizarse a partir de una altura de suspensión de 200 milímetros, de modo que la frecuencia de resonancia influida por el grosor de la capa de aire mejore realmente la impresión auditiva en el sonido de impacto. Si esto no puede conseguirse, en el caso de techos de madera maciza debería prescindirse por completo del techo suspendido. En su lugar, deberá optimizarse la solera flotante de acuerdo con los criterios antes mencionados y/o deberá aumentarse la masa relativa a la superficie del techo inacabado mediante el entarimado directo en la parte inferior del techo y el relleno/ponderación.

## **5.11. Conexiones y uniones de flancos**

Cuanto mayores sean los requisitos de aislamiento acústico, más atención deberá prestarse a las conexiones de los componentes, ya que el sonido también se propaga a través de los componentes flanqueantes. Por ejemplo, es muy diferente si dos componentes se unen en una junta en T o si un componente «sobresale» dentro del otro. En la zona de la junta, la separación de capas individuales o de todo el componente también puede ser útil para conseguir una mayor diferencia normalizada de nivel sonoro flanqueante  $D_{n,f,w}$  y, por tanto, un mejor aislamiento acústico flanqueante. La norma DIN 4109-33, sección 5, ofrece una buena visión general de la influencia en la zona de unión. En las paredes de madera maciza, la transmisión del sonido en las juntas entre los elementos ya se reduce considerablemente con el revestimiento de un lado.

En los techos con solado flotante, es esencial que el solado con revestimiento esté desacoplado de los elementos flanqueantes y de cualquier penetración, como las tuberías de instalación. Para ello, entre la pared o la tubería y la solera con revestimiento de suelo debe colocarse en todo el perímetro un perfil aislante de borde. El saliente en la parte superior sólo puede cortarse a ras después de haber instalado completamente el revestimiento del suelo. Si se instalan zócalos, éstos deben estar separados de las capas inferiores por un listón de aislamiento acústico. En la junta entre el suelo y las baldosas de zócalo, la transmisión del sonido se evita rellenando con un material no quebradizo y permanentemente elástico.

Al mismo tiempo, cada elemento de fijación, como los tornillos, también representa un puente acústico. Por lo tanto, deben limitarse al número estáticamente necesario. Si se utilizan apoyos elastoméricos, en esta zona deben utilizarse elementos de fijación especialmente desacoplados, por ejemplo, soportes con capas de elastómero o arandelas montadas elásticamente. Sólo entonces surtirá realmente efecto el efecto positivo de los soportes de elastómero, que son muy costosos.

## **6. Riesgos de diseño y cálculo**

### **6.1. Riesgos y consideraciones generales en el diseño de estructuras de madera**

En general, a la hora de diseñar y calcular estructuras de madera es importante saber que se trata de un material anisotrópico con comportamientos distintos según la dirección en que se produzcan los esfuerzos y que tiene una naturaleza elasto-frágil de forma que hay que evitar los esfuerzos puntuales concentrados.

El comportamiento de la madera suele considerarse elasto-plástico, pudiendo tener algún comportamiento frágil en situaciones concretas.

Es importante distribuir esfuerzos en superficie y entender que no se pueden calcular estructuras de madera considerando sus nudos como uniones rígidas como si se puede hacer en el acero. Existen consideraciones muy importantes en general, como el hecho de que el módulo de elasticidad de la madera varía según el contenido de humedad de la madera, por ello es necesario aplicar una serie de coeficientes, que dependen, entre otros factores de las condiciones ambientales en las que se encontrará la estructura según la clase de servicio en que se encuentre.

Cuanto más protegida esté la madera de la intemperie y las oscilaciones de humedad, mayores serán las garantías en su comportamiento estático y mejor su durabilidad. La mejor protección es la que se realiza con métodos de diseño constructivo que mantengan seca a la madera.

También es importante entender que hay una buena contribución al comportamiento general de la madera con la variación de secciones y altura de los elementos estructurales, pues aportan mayor durabilidad frente al fuego, mejoran el comportamiento a la vibración, reducen ostensiblemente la deformación por fluencia y no menos importante, aportan madera donde albergar los bulbos de distribución de tensiones que tornillería y herrajes producen en ella.

Todos estos factores se tienen en cuenta con los cálculos estructurales, tanto de dimensionado de la estructura como de las uniones. Puede comentarse que, el cálculo de las uniones puede condicionar el dimensionado final de los elementos a unir y por tanto, debe afrontarse el proyecto calculando tanto las secciones de los elementos frente a las acciones como las uniones entre ellos.

Diseñar y calcular estructuras de madera y sus productos tecnológicos exige una comprensión diferencial de la naturaleza de estos materiales, pero no es difícil y existen, tanto unas normas que ayudan a hacerlo con garantías y suficientes programas para resolver los proyectos estructurales con total éxito.

## **6.2. Aspectos que afectan al diseño de estructuras de madera desde el punto de vista del cálculo**

### **a) Influencia del contenido de humedad de la madera en sus propiedades mecánicas, especialmente el módulo de elasticidad**

La humedad ambiental es uno de los factores más relevantes en el comportamiento mecánico de la madera, influyendo significativamente en su módulo de elasticidad (E). La influencia de la humedad se refleja en la reducción del módulo cuando la madera suscribe condiciones de humedad más elevadas, afectando la rigidez y capacidad portante.

*-Datos según clases de servicio (normativa Eurocódigo 5, EN 1995-1-1):*

Clase de servicio 1 (CS1): Ambiente seco, con humedad relativa  $< 12\%$ . El módulo de elasticidad para madera seca puede alcanzar valores entre 11 y 14 GPa dependiendo de la especie y la calidad.

Clase de servicio 2 (CS2): Ambiente moderadamente húmedo, humedad relativa del 12-20%. El módulo puede reducirse a aproximadamente 8-10 GPa.

Clase de servicio 3 (CS3): Ambiente húmedo, con humedad relativa  $> 20\%$ . Se recomienda considerar un módulo de elasticidad de aproximadamente 6-8 GPa, dado el incremento del contenido de humedad y la posible presencia de humedad en la madera.

Estos rangos están respaldados por ensayos y por la normativa EN 338 y Eurocódigo 5, que establecen valores de referencia para el diseño en función de las condiciones ambientales, pero se ha de tener en cuenta la practicidad de los coeficientes que ya

se introducen en el cálculo estructural para cuantificar la influencia de las condiciones de humedad ambiental.

b) Flecha diferida en elementos estructurales de madera por fluencia

La fluencia, o deformación diferida, en madera es un fenómeno por el cual los elementos estructurales experimentan una deformación progresiva bajo cargas permanentes o de larga duración. Este efecto es importante en el cálculo estructural para determinar la deformación total y garantizar la estabilidad en el tiempo.

*-Datos relevantes:*

La flecha diferida en madera puede ser aproximadamente del 0,5% a 1% de la longitud del elemento en condiciones de cargas y humedad constantes, tras varias semanas o meses de exposición.

El Eurocódigo 5 (EN 1995-1-1) recomienda utilizar modelos de fluencia para prever deformaciones a largo plazo, especialmente en estructuras sometidas a cargas permanentes, tales como viguetas de forjado o columnas.

En general, la fluencia en madera puede ser significativa, especialmente en condiciones de humedad elevada. La cuantificación de la deformación diferida requiere considerar también los efectos combinados de carga, humedad y temperatura.

c) Repercusión del carácter elasto-frágil de la madera según el plano de esfuerzos respecto a la fibra

La madera presenta un comportamiento elasto-frágil, siendo más resistente en compresión paralela a la fibra y mucho menos resistente en tracción perpendicular o en direcciones transversales. La orientación del esfuerzo respecto a la fibra (longitudinal, radial, tangencial) determina su comportamiento y resistencia.

*-Datos clave:*

Resistencia en tracción paralela a la fibra: Es la resistencia máxima en dirección longitudinal y varía según la especie.

Resistencia en compresión paralela a la fibra: Generalmente mayor que en tracción, dado el comportamiento elástico-plástico en compresión, variando según la especie.

Resistencia en tracción perpendicular a la fibra: La menor de las resistencias, variando según la especie.

Resistencia en compresión perpendicular a la fibra: relativamente baja, la más baja después de la de tracción perpendicular y variando según la especie.

Este anisotropismo implica que el diseño debe garantizar que los esfuerzos en los planos de máxima resistencia no superen los valores en sus respectivas direcciones.

Además, en aspectos como conexiones y deformaciones, la fragilidad en ciertos planos puede condicionar el comportamiento global de la estructura.

Es, sin embargo, importante indicar, que el valor de las resistencias en términos absolutos depende directamente de la clase resistente de la pieza de madera que se tenga en cuenta, variando ostensiblemente según la especie de que se trate e incluso de su procedencia en el caso de especies iguales.

## 7. Sumario y conclusiones

### RIESGOS ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA EN EDIFICACIÓN

#### 7.1. Riesgos asociados al agua

Cualquier material es vulnerable a errores de diseño que provoquen la entrada de agua. En estructuras de madera, un exceso de **humedad prolongada** puede derivar en un deterioro estructural rápido debido a la aparición de **agentes xilófagos** (hongos de pudrición, termitas o insectos de ciclo larvario).

##### ¿Qué se considera un exceso de humedad?

El umbral crítico de riesgo se sitúa cuando el **contenido de humedad de la madera supera el 20%**.

Los **hongos cromógenos** (azulado) afectan a la **estética**, pero no a las **propiedades mecánicas**; sin embargo, los **hongos de pudrición sí comprometen la integridad estructural**.

La madera debe poder "respirar": es vital que cuente con la **protección pasiva** que provee un **diseño constructivo** apropiado que **evite la acumulación de agua**.

##### Reglas de diseño y obra

**Diseño:** Definir correctamente la **Clase de Servicio** y la **Clase de Uso** (según **UNE-EN 335**).

**Análisis:** Incorporar un **estudio higrotérmico** de la envolvente para evitar **condensaciones intersticiales**.

**Protección en obra:** La impermeabilización debe considerarse un camino crítico de **protección anticipada** en el cronograma. Si la madera se humedece, debe **garantizarse su secado** antes de realizar cualquier **encapsulado** o revestimiento.

**Uso:** Es muy recomendable implementar **mecanismos de detección** como sensores de humedad en puntos críticos y sistemas de detección de fugas en **zonas húmedas**.

## 7.2. Riesgos asociados al fuego

La resistencia al fuego en madera no se basa en la incombustibilidad, sino en la **estabilidad estructural** bajo exposición térmica.

**Velocidad de carbonización:** La capa carbonizada actúa como aislante, protegiendo el núcleo interior.

**Cálculo:** Se debe verificar la **sección residual** tras el tiempo de exposición requerido (R30, R60, etc.) según el **DB-SI** del **CTE**.

**Predictibilidad:** La madera presenta un comportamiento **más predecible** que el acero frente al fuego, ya que **no sufre** deformaciones ni **pérdidas de resistencia súbitas** por caída de módulo elástico a temperaturas medias, ni altas.

## 7.3. Riesgos asociados a la estética

La madera es un material **higroscópico**, lo que implica variaciones dimensionales (**hinchazón y merma**) según la humedad relativa del ambiente.

**Fendas de secado:** Son aberturas naturales que no suelen afectar a la resistencia estructural, pero deben gestionarse visualmente o clarificarse de antemano con el cliente para evitar reclamaciones.

**Fotodegradación:** La exposición al **sol altera el color** por la degradación de la lignina. Se recomienda acopiar los materiales de revestimiento en interior para evitar saltos de tono desiguales.

**Manchas químicas:** Evitar el contacto con metales ferrosos que puedan oxidarse y manchar la madera, o el uso de productos químicos sin protección previa. Para evitar manchas de taninos en maderas que los contengan para usos vistos, se debe abordar un plan de prevención antitaninos.

## 7.4. Riesgos asociados a la acústica

La construcción en madera es ligera, lo que presenta retos que no se pueden abordar beneficiándose del factor masa de la construcción tradicional y que demanda otras estrategias de mitigación acústica.

**Principio Masa-Muelle-Masa:** Es la base para una buena mitigación acústica. El uso de capas alternas, homogéneas y continuas con materiales de características de rigidez, densidad, etc. muy diferenciadas entre sí es fundamental.



**Frecuencias bajas:** El ruido de impacto (pasos) por debajo de los **100 Hz** es el más difícil de mitigar. Se recomienda el uso de **soleras flotantes** pesadas sobre bandas elásticas.

**Estanqueidad:** Cualquier puente acústico o fallo en la estanqueidad al aire arruinará el aislamiento del sistema.

## 7.5. Riesgos de diseño y cálculo

La madera es un material **anisotrópico** (propiedades distintas según la dirección de la fibra) y tiene un **comportamiento elasto-frágil**.

**Esfuerzos:** Es muy resistente a compresión/tracción paralela a la fibra, pero débil en **tracción perpendicular** y **cortante**.

**Deformaciones:** Se debe calcular la **flecha diferida** (fluencia o creep) producida por cargas permanentes a largo plazo, la cual puede verse acentuada por cambios de humedad.

**Uniones:** Los nudos no deben considerarse rígidos (empotramientos perfectos). Es vital distribuir los esfuerzos para **evitar concentraciones de tensiones** que puedan hendir y romper la madera en su dirección más frágil, la perpendicular a la fibra.

## 7.6. Tratamiento y durabilidad

La durabilidad puede ser **natural** (propia de la especie) o **conferida** (mediante tratamientos y/o modificaciones químicas o térmicas).

**Mantenimiento:** La percepción de "cero mantenimiento" es un error. Se requiere una **planificación de mantenimiento preventivo** en maderas expuestas a la intemperie (Básica en Clase de Uso 2 e importante en Clase de uso 3).

**Protección:** En interiores, el uso de **barnices, aceites o ceras** protege contra la abrasión, acumulación de polvo y manchas, requiriendo un mantenimiento estético mínimo comparado con el exterior.

# 8. Bibliografía útil

## 8.1. Normativa y Bases de Diseño (Cálculo y Seguridad)

Ministerio de Vivienda (2006/Actualizado). Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SE-M: Seguridad Estructural - Madera. Madrid: Ministerio de Vivienda.

AENOR (2016). UNE-EN 1995-1-1:2016. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación. Madrid: Asociación Española de Normalización.

Arriaga Martitegui, F.; Argüelles Álvarez, R.; Esteban, M.; Íñiguez, G.; Argüelles Bustillo, R. (2018). Estructuras de madera. Bases de cálculo. 2ª ed. Madrid: AITIM.

Argüelles Álvarez, R.; Arriaga Martitegui, F.; Esteban Herrero, M.; Íñiguez González, G.; Argüelles Bustillo, R. (2015). Estructuras de madera. Uniones. Madrid: AITIM.

Arriaga, F.; Íñiguez, G.; Esteban, M.; Argüelles, R.; Fernández, J.L. (2014). Uniones en estructuras de madera. Documento de aplicación del CTE. Madrid: Confemadera Hábitat.

Arriaga Martitegui, F.; Esteban, M.; Íñiguez, G. (2010). Productos de madera para la construcción. Guía de Construir con Madera. Madrid: Construir con Madera (CcM).

## **8.2. Durabilidad, Humedad y Protección Biológica**

Fernández-Golfín, J.I.; Peraza, R.; Touza, M.C.; Arriaga Martitegui, F. (2018). Guía para la asignación de clases de uso y de servicio a los productos de madera. Monografías INIA: Serie Forestal Nº 30. Madrid: INIA.

Arriaga Martitegui, F. (Coord.) (2002). Intervención en estructuras de madera. Madrid: AITIM.

Touza Vázquez, M.C. (2001). Manual de la madera (II). Construcción, mantenimiento y rehabilitación. Santiago de Compostela: CIS-Madera.

AENOR (2009). UNE 41805-8:2009. Diagnóstico de edificios. Parte 8: Estudio patológico de la estructura del edificio. Estructuras de madera. Madrid: Asociación Española de Normalización.

Lozano Martínez-Luengas, A.G.; Lorenzo, D.; Benito Ayúcar, J.; Touza Vázquez, M.C.; Arriaga Martitegui, F. (2022). "La durabilidad y el fuego, dos aspectos discutidos y bien resueltos". Revista Montes, Nº 151, pp. 38-41.

García Esteban, L.; Arriaga Martitegui, F.; et al. (2003). Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario. Madrid: AITIM.

## **8.3. Riesgos Asociados al Fuego**

Ministerio de Vivienda (2006/Actualizado). Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SI: Seguridad en caso de incendio. Madrid: Ministerio de Vivienda.

AENOR (2016). UNE-EN 1995-1-2:2016. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego. Madrid: Asociación Española de Normalización.

AITIM (Varios). Monográficos sobre comportamiento de la madera ante el fuego. Revista AITIM.

## **8.4. Acústica y Confort**

Ministerio de Vivienda (2006/Actualizado). Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HR: Protección frente al ruido. Madrid: Ministerio de Vivienda.

AITIM (2018). Soluciones acústicas con madera. Madrid: Revista AITIM nº 319.

Bobadilla Maldonado, I.; et al. (2024). Uso de ensayos acústicos para estimar resistencia y rigidez en compuestos madera-polímero. Maderas: Ciencia y tecnología.

Guías de Productos y Sistemas Constructivos.

Peraza Sánchez, F.; Peraza Sánchez, J.E. (2010). Guía de la madera (I). Productos Básicos y Carpintería. Madrid: AITIM.

Peraza Sánchez, F.; Peraza Sánchez, J.E. (2014). Guía de la madera (II). Construcción y estructuras. Madrid: AITIM.

AITIM (2025). Guía de la madera (tomo I) actualizada. Madrid: AITIM.

Araujo, R. (2007). La arquitectura de madera. Madrid: Tectónica.

Peraza Sánchez, F.; Peraza Sánchez, J.E. (2003). El marcado CE para tableros y casas de madera. Madrid: AITIM.

Touza Vázquez, M.C. (2001). Manual de la madera (I). Propiedades, especies y productos. Santiago de Compostela: CIS-Madera.

Touza Vázquez, M.C. (2001). Manual de la madera (II). Construcción, mantenimiento y rehabilitación. Santiago de Compostela: CIS-Madera / Xunta de Galicia.

Touza Vázquez, M.C. (2009). "Mantenimiento preventivo de estructuras de madera en ambientes húmedos". Manuales Técnicos de Rehabilitación.

## **8.5. Investigación y Casos de Estudio en España**

Arriaga Martitegui, F. (2020). "Estado actual de la construcción con madera en España". Quaderns d'estructures, N° 69, pp. 5-20.

Esteban Herrero, M.; Arriaga Martitegui, F.; Iñiguez González, G. (2019). "Análisis y consolidación de la estructura de madera del Real Taller de Aserrío Mecánico de Valsaín, en Segovia". Revista Montes, Nº 138, pp. 36-42.

Iñiguez González, G. (2007). Clasificación mediante ensayos no destructivos de la madera estructural de coníferas de origen español. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Esteban Herrero, M. (2003). Determinación del estado de conservación y de la capacidad resistente de estructuras de madera antiguas. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Iñiguez-Gonzalez, G.; Arriaga-Martitegui, F.; et al. (2015). Revisión de literatura sobre ensayos no destructivos aplicados a la madera en España. Maderas: Ciencia y tecnología.

Argüelles Álvarez, R. (1969). Cálculo de estructuras de madera. Madrid: (Obra pionera en la bibliografía técnica española).