



---

**Universidad de Valladolid**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA  
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

**LESIONES HABITUALES DE LAS  
ESTRUCTURAS DE MADERA  
TRADICIONALES Y CRITERIOS DE  
INTERVENCIÓN**

AUTOR: Diego Melero Herranz

TUTOR: Luis Alfonso Basterra Otero

Valladolid, 18 de Septiembre de 2020

## **RESUMEN**

La madera es un material que ha sido utilizado a lo largo de la historia para diferentes finalidades como útiles de uso diario, aperos de labranza, material estructural o de acabado.

El contenido de este texto hace referencia a la madera como material estructural, siendo su objetivo analizar los principales agentes degradadores, tanto los organismos vivos como los que no, las lesiones que estos pueden llegar a ocasionar y los tratamientos que se pueden aplicar a la madera antes de su colocación en obra (preventivos) y aquellos que una vez ha sido lesionada se pueden utilizar para solucionar el daño ocasionado (curativos). Todo ello tras un estudio de las diferentes formas en las que se puede encontrar la madera en un edificio.

## **ABSTRACT**

Wood is a material that has been used throughout history for different uses such as daily tools, farm implements, as a structural material or as decoration.

The content of this text refers to wood as a structural material, the objective of this text being to analyze the main degradative agents of wooden structures, both living organisms and those that are not, the injuries that these can cause and the treatments that can be applied to the wood before it is placed on site (preventive) and those that once it has been injured can be used to solve the damage caused (curative). All this after a study of the different ways in which wood can be found in a building.

## **OBJETIVOS**

Las actividades desarrolladas a lo largo de este trabajo están orientadas al estudio de las lesiones de la madera y a la intervención que habría que realizar en caso de que se vea afectado por alguna de ellas. A su vez, se pueden desglosar en:

- Conocer los principales agentes degradadores, su origen y su capacidad de dañar la madera.
- Conocer los tratamientos preventivos que se pueden aplicar a la madera para evitar que sea atacada.
- Tener la capacidad para decidir qué productos preventivos usar en función del tipo de madera, su uso y su localización.
- Conocer los puntos y las zonas más vulnerables de un edificio con estructura de madera, que son más proclives a ser atacadas.
- Ser capaz de realizar un diagnóstico acertado de las lesiones que haya sufrido una estructura de madera mediante herramientas que puedan servir de apoyo.
- Conocer los diferentes tipos de intervención que se pueden realizar cuando la estructura ya ha sido dañada.
- Tener los conocimientos adecuados que te permitan decidir la intervención adecuada en función la lesión que presente la estructura.

## ÍNDICE

1	Introducción.....	6
1.1	Construcción con madera hoy.....	7
2	Patologías de la madera.....	15
2.1	Defectos propios de la madera.....	15
2.2	Patologías producidas por agentes abióticos.....	16
2.2.1	El agua:.....	16
2.2.2	Radiación solar.....	18
2.2.3	Productos químicos.....	18
2.2.4	Acción mecánica.....	19
2.2.5	Fuego.....	19
2.3	Patologías producidas por agentes bióticos.....	21
2.3.1	Hongos xilófagos (reino vegetal).....	21
2.3.2	Insectos xilófagos (reino animal).....	23
2.3.3	Isópteros o insectos sociales (termitas):.....	24
2.3.4	Xilófagos marinos.....	25
3	Métodos de intervención.....	25
3.1	Durabilidad natural e impregnabilidad.....	26
3.2	Protección preventiva de la madera.....	27
3.2.1	Tratamientos protectores.....	27
3.2.2	Productos protectores.....	37
4	Tratamientos curativos.....	45
4.1	Medidas constructivas.....	45
4.2	Medidas estructurales.....	45
4.3	Medidas de protección químicas.....	46
5	Intervención.....	47
5.1	Intervención frente a hongos xilófagos.....	48
5.2	Intervención frente a insectos de ciclo larvario.....	49
5.2.1	Tratamientos con productos líquidos.....	49
5.2.2	Tratamiento con productos gaseosos.....	49
5.2.3	Tratamiento con productos en forma de humos.....	50
5.2.4	Tratamiento por esterilización con calor.....	50
5.2.5	Tratamiento por esterilización con frío o de choque térmico.....	50
5.3	Intervención frente a insectos xilófagos sociales.....	50
5.3.1	Tratamiento químico tradicional.....	50
5.3.2	Tratamiento químico no repelente.....	51

5.3.3	Sistema de cebos .....	51
5.4	Intervención frente a lesiones estructurales.....	52
5.4.1	Intervención mediante apeos.....	52
5.4.2	Intervención para aumentar la rigidez y capacidad resistente de las piezas. 55	
6	Conclusiones .....	66
7	Bibliografía .....	68

## 1 INTRODUCCIÓN

La madera es probablemente el material más utilizado a lo largo de la historia gracias a su abundancia, su trabajabilidad, la resistencia y sus propiedades térmicas y acústicas.

Desde que se usó como combustible para las hogueras, su utilización no ha parado. El trabajo de la madera ha evolucionado con el tiempo y se ha empleado para la fabricación de armas o herramientas, para aperos de labranza y por supuesto para la construcción y decoración de viviendas.

Es uno de los materiales de construcción que ha formado parte de las edificaciones construidas por el hombre desde hace miles de años, desde que los homínidos abandonaron los refugios naturales para disfrutar de una seguridad y un confort superior a medida que evolucionaban.

A diferencia de lo que ocurre con las construcciones de piedra, no se ha encontrado ningún resto fósil de ninguna construcción de madera hecha por el hombre. La referencia más antigua que se tiene data del siglo I a.C. procedente de Roma. Marco Vitrubio redactó un texto titulado 'De architectura'. En este tratado, entre otros temas, nos da los primeros rasgos sobre la composición, las cualidades, los usos y los efectos que provocan los organismos xilófagos sobre la madera.

La arquitectura desarrollada por las civilizaciones antiguas como los griegos y los romanos eran en su mayoría viviendas unifamiliares de madera. Para su ejecución los arquitectos de la época prestaban especial atención a las uniones de las piezas, al tratamiento de estas y a la resistencia de la construcción. La ejecución de estos sistemas complejos (entramados de vigas y pilares, forjados y estructuras de cubierta) se denomina carpintería de armar.



Figura 1. Cabaña de toncos.

<https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/44265-Breve-historia-de-la-madera-como-material-de-construccion.html>

Estas construcciones carecían de las actuales medidas protectoras y debido a la combustibilidad de la madera se producían numerosos incendios lo que provocó que el adobe fuera sustituyéndola como material de construcción.

La llegada de la revolución industrial durante los siglos XVIII y XIX permitió que se desarrollaran otros materiales como el hormigón armado y el acero que debido a la producción en serie y a la capacidad de cubrir mayores luces se establecieron como materiales estructurales predominantes en el siglo XX quedando la madera como material para acabados. Aun así, países como Estados Unidos o la zona escandinava de Europa han mantenido la madera como material para sus viviendas.

### 1.1 Construcción con madera hoy

En los últimos años se ha producido un resurgimiento de la madera debido a la diversidad de tipologías en las que se presenta, al mayor conocimiento sobre sus características y las nuevas técnicas de protección frente a los agentes que pueden afectarle. Además, aporta grandes beneficios ecológicos, capta el carbono en sus paredes celulares durante la vida útil de la estructura. Su producción supone un escaso coste energético a diferencia de la del hormigón y el acero cuya producción es incompatible con el concepto de sostenibilidad ambiental.

La base de las construcciones tradicionales e históricas ha sido la madera maciza bien en forma de rollizo o bien aserrada. A día de hoy, esta forma de uso se dedica para intervenciones de rehabilitación y restauración de edificios.

En la actualidad la forma de uso que sobresale por encima del resto es la **madera laminada encolada**. Supone una evolución tecnológica en la construcción porque se han conseguido piezas de madera más estables dimensionalmente, con formas, longitudes, anchuras y cantos que no se pueden conseguir con una pieza de madera maciza a partir de un solo árbol.



Figura 2. Estructura madera laminada. Polideportivo Madre Alberta (Mallorca)

Las piezas están formadas por láminas de madera aserradas, con un espesor entre 6 mm y 45 mm, colocadas paralelamente a la dirección longitudinal de la fibra, encoladas bajo presión hasta que se alcanza el canto necesario. Para las uniones longitudinales se utiliza la técnica conocida como finger-joint que

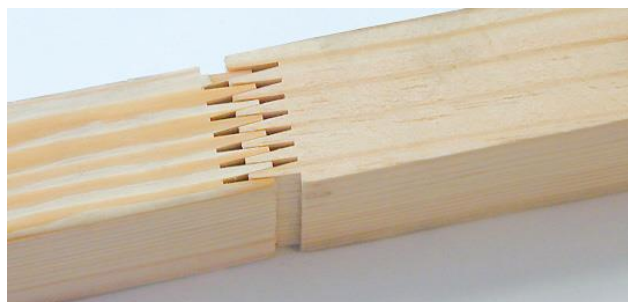


Figura 3. Finger joint.  
<http://www.maderasmafilo.com/portfolio-item/tableros-finger-joint/>

consiste en empalmes dentados. Este sistema permite crear piezas rectas, curvas, de cantos variables...

Este tipo de estructuras es especialmente recomendado cuando:

- Las luces a cubrir sean especialmente grandes
- Se proyecte una cubierta ligera
- La estructura vaya a quedar visible
- Exista la necesidad de resistencia a agentes químicos
- Se precise estabilidad frente al fuego.

Cuando sea necesario que los tablones sean de mayor tamaño se utiliza una alternativa a la madera laminada como son las vigas dúo y trío. Consisten en la unión encolada de dos o tres piezas de madera, respectivamente, con un espesor entre 80 mm y 100 mm, dispuestas en vertical y con el duramen colocado hacia el exterior para proporcionar un mejor aspecto a la pieza evitando los nudos y la aparición de fendas y deformaciones.



Figura 4. Vigas dúo y trío.  
<http://teycubermadera.com/modules.php?name=webstructure&idwebstructure=43>

A parte de la madera aserrada y la madera laminada podemos encontrar en el mercado otras formas de uso.

### **Madera reconstituida**

Madera microlaminada LVL: Es un material compuesto por un mínimo de cinco chapas de madera de pequeño espesor, entre 3 mm y 6 mm, encoladas en la dirección de la fibra. Suele emplearse en estructuras que requieren elevada resistencia a flexión, uniformidad de las propiedades, poco peso y diseños curvos.



Figura 5. Madera microlaminada LVL.  
<https://www.maderea.es/madera-microlaminada-o-lvl-descripcion-usos-y-caracteristicas-beneficios-e-inconvenientes/>

Madera de fibras paralelas PSL: Empleada especialmente en Estados Unidos, se obtiene del encolado y prensado de tiras de madera orientadas en la dirección longitudinal y obtenidas por el corte de chapas continuas de madera.





Figura 6. Madera de fibras paralelas PSL. <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/el-acero-como-material-complementario-en-las>

## Tableros

Tablero de contrachapado: Compuesto por una alternancia de chapas paralelas a la fibra y perpendiculares a la fibra.

Tablero de virutas orientadas OSB: Formados por varias capas de virutas encoladas a las que se aplica presión. Para mayor estabilidad y resistencia se alternan las direcciones en las que se orientan las virutas de cada capa.

Tablero aglomerado o conglomerado: Formado por partículas de madera encoladas y prensadas.

Tablero de fibras: Formado por partículas extrafinas. Similar al aglomerado.



Figura 8. Tablero contrachapado.  
<https://www.gabarro.com/es/tableros/tableros-contrachapados/>



Figura 7. Tablero aglomerado.  
<https://www.hguillen.com/2008/08/tableros-aglomerados-de-particulas-de-madera/>



Figura 9. Tablero de virutas orientadas OBS. [https://demasa.es/almacen-tableros-madera-osb-madrid/#prettyPhoto\[postimages\]/1](https://demasa.es/almacen-tableros-madera-osb-madrid/#prettyPhoto[postimages]/1)

Hasta la revolución industrial las uniones del entramado estructural de madera se realizaban por contacto en las cuales los esfuerzos se transmiten entre las propias piezas encajando unas con otras. Estas uniones podían dividirse en:

- Ensamblés: Unión en cualquier ángulo.
- Empalmes: Unión en el sentido longitudinal.
- Acoplamientos: Unión a lo largo de la directriz principal.

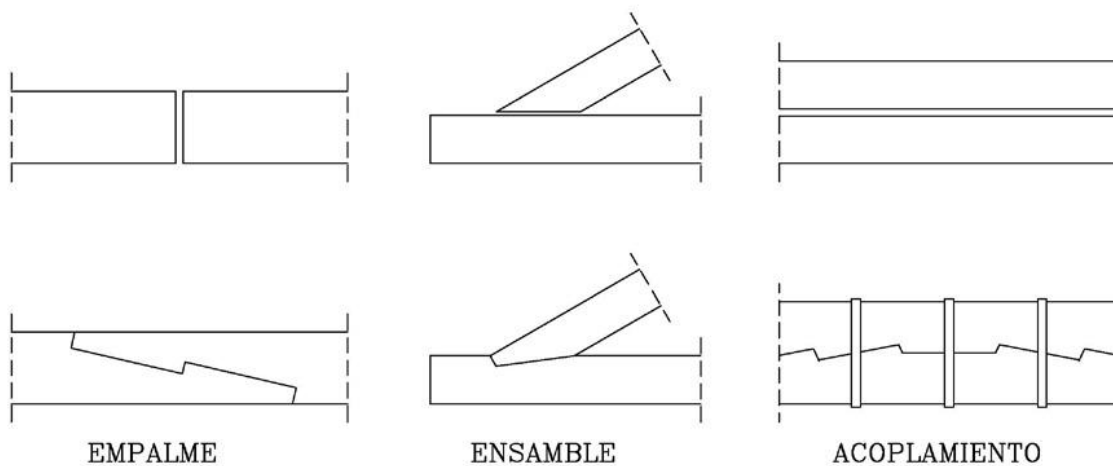


Figura 10. Tipos de uniones. <http://vgatec.blogspot.com/2013/05/disenio-de-uniones-en-estructuras-de.html>

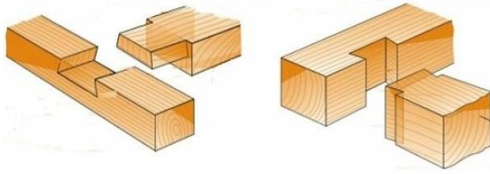


Figura 11.  
<https://www.forestmaderero.com/articulos/item/tecnicas-para.html>

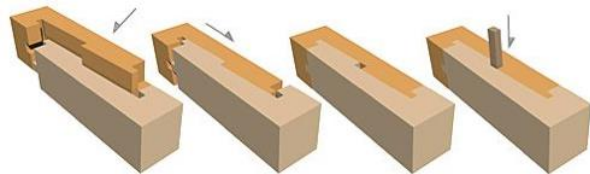


Figura 12. Ejemplo de empalme.  
<https://www.forestmaderero.com/articulos/item/tecnicas-para.html>

La llegada de la revolución industrial y la producción en serie redujeron el precio de los elementos metálicos y se impulsó el uso de las uniones mecánicas.

En este tipo de unión la madera y el acero trabajan juntos y se complementan. Encontramos varios tipos cada uno con sus pros y sus contras.

#### De Clavija:

- Clavos de fuste liso o con resaltes: Medio de unión más común. Pueden ser de acero, acero inoxidable, acero tratado en caliente y aluminio.
- Grapas: Se utilizan para unir los tableros a los soportes
- Tirafondos: Mantienen en su posición a otros conectores.
- Pernos: Como fijador de otros elementos de conexión.
- Pasadores: Se utilizan para atravesar placas ocultas.

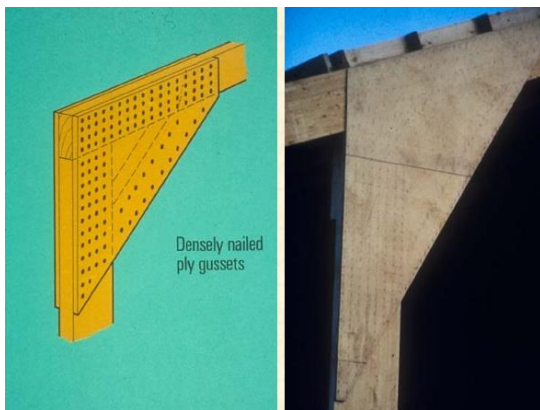


Figura 14. Unión mecánica mediante clavos.  
<https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html>



Figura 13. Unión mecánica mediante pernos.  
<https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html>

### Conectores:

Elementos de fijación circulares que se introducen entre dos piezas de madera unidas mediante pernos quedando ocultos y protegidos por la madera. Los podemos encontrar de anillo, placa, dentados, de madera, etc.

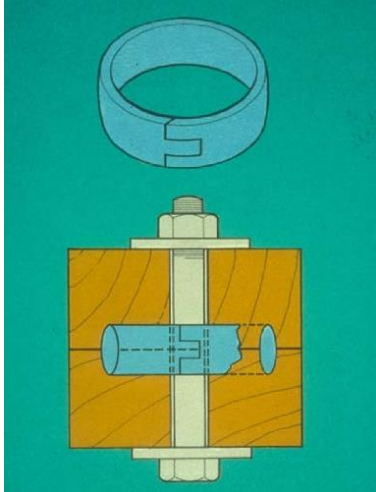


Figura 15. Unión mediante conector de anillo.  
<https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html>



Figura 16. . Colocación de los anillos de conexión.  
<https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html>

### Placas clavo:

Son placas metálicas con una gran cantidad de puntas estampadas en la base. Pueden ser de acero galvanizado o acero inoxidable.

Las piezas unidas deben ser del mismo grosor. Se unen por contacto colocando una por cada lado de la unión. Son sensibles al fuego.



Figura 17. Unión mediante placa clavo.  
<https://www.newhomereview.com.au/glossary/gusset-plate/>

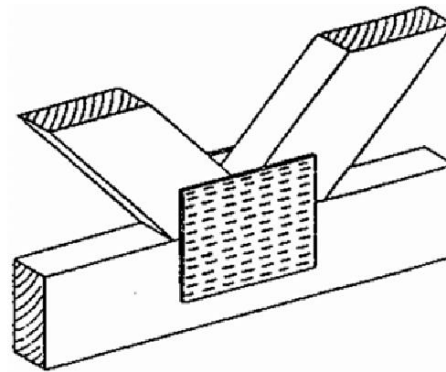


Figura 18. Unión mediante placa clavo.  
[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642009000600007](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642009000600007)

### **Barras roscadas encoladas:**

Consisten en barras de acero roscadas que se introducen con adhesivo en agujeros pasantes a través de las piezas a unir.

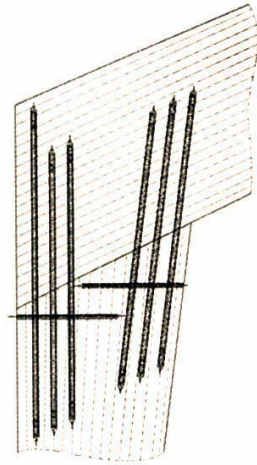


Figura 20. Unión mediante barras roscadas encoladas.  
<https://tectonica.archi/materials/union-de-madera-laminada-mediante-varillas-de-acero-encoladas/>



Figura 19. Unión mediante barras roscadas encoladas.  
<https://tectonica.archi/materials/union-de-madera-laminada-mediante-varillas-de-acero-encoladas/>

### **Placas auxiliares:**

Para realizar las uniones también se pueden utilizar placas de acero colocadas o bien por fuera o en el interior de la pieza de madera y unidas mediante pasadores o pernos conforman el nudo.



Figura 22. Placas auxiliares vistas.  
<https://www.maderea.es/uniones-y-ensamblajes-con-madera/>



Figura 21. Placas auxiliares ocultas  
<https://www.maderea.es/uniones-y-ensamblajes-con-madera/>

Los dos métodos principales de construcción a día de hoy son los entramados ligeros y los entramados pesados. Los primeros tienen su origen en el siglo XIX fruto de la necesidad de construir edificios de forma rápida y de la disponibilidad de materiales

## Introducción

de construcción industrializados y normalizados. Se basa en un entramado de elementos de pequeño tamaño unidos por placas clavo o pasadores.

Los entramados pesados se utilizan para estructuras que van a cubrir grandes luces.

## **2 PATOLOGÍAS DE LA MADERA**

### **2.1 Defectos propios de la madera**

La calidad de la madera varía en función de una serie de factores que se manifiestan como irregularidades o imperfecciones que pueden afectar a sus características físicas mecánicas o químicas. A continuación, se exponen los principales defectos geométricos que presenta la madera.

#### Nudos:

Es uno de los defectos más comunes. Son debidos al crecimiento de ramas en el tronco del árbol, el desarrollo de estas produce una desviación de las fibras que las rodea creciendo en diferente dirección del tronco.

Dependiendo de la rama que dio origen al nudo podemos clasificarlos en nudos vivos o muertos. Si la rama era verde nos encontramos ante un nudo vivo, cuyos tejidos han quedado unidos íntimamente con la madera colindante y el nudo se mantendrá en la pieza. Si por el contrario la rama estaba seca, el nudo estará muerto y podrá desprenderse de la pieza.

Los nudos afectan a la resistencia mecánica, sobre todo a la flexión, dependiendo de su tamaño y su ubicación.

#### Hendiduras o fendas:

Agrietamientos longitudinales que cortan radialmente los anillos de crecimiento. Se producen por la contracción o el secado demasiado rápido del árbol, la pueden producir la sequía, la acción excesiva del sol o intensas heladas.

#### Acebolladuras o colainas:

Son huecos producidos por la separación de los anillos de crecimiento que pueden provocar agrietamientos longitudinales. Se producen por irregularidades en el crecimiento del árbol y pueden observarse en la sección transversal.

#### Desviación de la fibra:

Al crecer el árbol sus fibras no lo hacen de forma paralela al eje, sino en forma de hélice, debido al excesivo crecimiento de las fibras periféricas, con relación a las interiores. Generalmente se produce por la conicidad del fuste del árbol. Se manifiesta durante el aserrado.

#### Gemas:

Falta de madera en las aristas de las piezas debido a un mal aserrado o a una mala fabricación de la pieza.

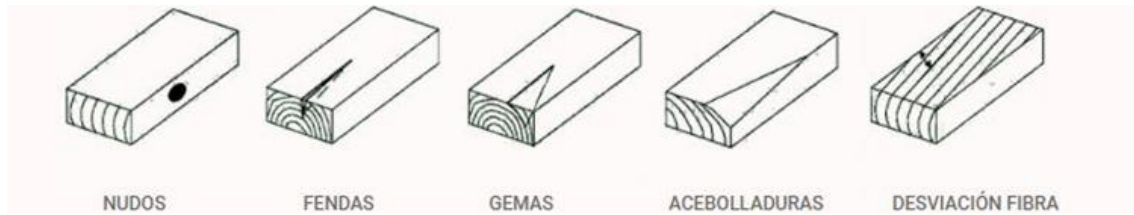


Figura 23. Defectos propios de la madera. <https://maderayconstruccion.com/construir-con-madera-breve-guia-de-supervivencia-ii/>

Siendo estas las más frecuentes también podemos encontrar otras como:

#### Corazón excéntrico:

Es frecuente por la acción de los fuertes vientos y el sol que los árboles que se encuentran en zonas desprotegidas del bosque crezcan con cierta excentricidad del corazón lo que produce distintas calidades de la madera.

#### Deformaciones:

Curvaturas que puede experimentar una pieza de madera en sus ejes longitudinal o transversal como consecuencia de una pérdida de humedad. Podemos distinguir diferentes tipos:

- Abarquillado: Es el alabeo de las caras de una pieza aserrada por la curvatura de su eje transversal.
- Combado: Es el alabeo de las caras de una pieza aserrada por la curvatura de su eje longitudinal.
- Encorvadura: En este caso, la curvatura se produce en el eje longitudinal debido a la torsión en los cantos.
- Torcedura o revirado: Retorcimiento de la madera en forma de tirabuzón debido a una curvatura en ambos ejes.

Tras conocer los defectos propios de la madera, pasamos a describir las principales patologías degradadoras de la madera. Se dividen en dos grupos, patologías de origen abiótico y patologías de origen bióticos.

## **2.2 Patologías producidas por agentes abióticos**

Son aquellos que están principalmente relacionados con los factores ambientales, climáticos, meteorológicos, químicos y físicos. Son causados por agentes no vivos.

Pueden provocar deformaciones, desplazamientos, fendas, hinchamientos...

Los más importantes son los siguientes:

### **2.2.1 El agua:**

Es uno de los principales motivos del deterioro de la madera debido a los cambios del contenido de humedad. El agua es el causante de la hinchazón y la merma (principalmente en la dirección perpendicular de las fibras) de la madera cuya gravedad dependerá de la especie y su permeabilidad. Además, es imprescindible para el ataque de los hongos de pudrición y algunos insectos xilófagos.



En la evaluación de las patologías, resistencia e idoneidad de la estructura es necesario identificar el tipo de madera, su durabilidad natural, la resistencia de su especie y la clase de uso a la que va a estar sometida.

El CTE, basándose en la normativa europea (EN 335.1 y EN 335.2/95: 2007), ha determinado unas clases de uso en función de su ubicación (Exposición a la humedad, contacto con el suelo, cercanía al mar)

#### Clase de uso 1

Maderas situadas bajo cubierta protegida de la intemperie y no expuesto a la humedad. ( $H < 20\%$ ). Ej. Centros comerciales, vivienda, etc.

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

#### Clase de uso 2

Estructuras situadas bajo cubierta, protegido de la intemperie en los que de forma ocasional pueda aparecer un grado alto de humedad ( $H > 20\%$  ocasionalmente) Ej. Estructuras de cubiertas, piscinas cubiertas, elementos cercanos a instalaciones de agua, etc.

En este caso, la aparición de hongos es posible. En cuanto a los insectos es similar al de la Clase 1.

#### Clase de uso 3

Corresponde a maderas situadas al descubierto, sin contacto con el suelo (al igual que las dos anteriores) y que, ya sea a la intemperie o no, se hallan en lugares donde se encuentran frecuentemente en contacto con la humedad ( $H > 20\%$  frecuentemente). Ej. Pérgolas, puentes, etc.

En este punto se distinguen dos subclases, la 3.1 y la 3.2. En la situación 3.1 la madera y sus productos derivados no permanecen húmedos durante largos periodos, el agua no se acumula. En la situación 3.2 la madera sí que permanece largos periodos en contacto con el agua pudiendo acumularse.

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

#### Clase de uso 4

Hace referencia a maderas situadas a la intemperie, en contacto con el suelo o agua dulce y sometida de forma permanente a un grado de humedad elevado ( $H > 20\%$  permanentemente). Ej. Postes empotrados en el suelo, empalizadas, embarcaderos, etc.

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

### Clase de uso 5

Para maderas en contacto permanente con agua salada y sujetas a un grado de humedad alto ( $H > 20\%$  permanentemente). Ej. Estructuras en agua salada, pantalanes, muelles, etc.

Este tipo de estructuras pueden estar sometidas a ataques por parte de los hongos los coleópteros, las termitas y los xilófagos marinos.

Para evaluar correctamente una estructura de madera hay que centrarse en los puntos críticos ya que la degradación comienza por la albura, que es más fácilmente atacable que por el duramen y por la testa ya que el corte transversal favorece la penetración de la humedad y de los xilófagos.

#### 2.2.2 Radiación solar

La radiación solar actúa a través de los rayos ultravioleta y los rayos infrarrojos.

La exposición a los rayos ultravioletas provoca un cambio de coloración que en un primer momento tiende hacia un oscurecimiento del color marrón para posteriormente adquirir un color grisáceo. A parte de los cambios cromáticos, se produce una degradación de la lignina. Con el paso del tiempo, la lluvia y el viento se produce el fenómeno de la meteorización que consiste en la pérdida de cohesión entre las fibras.

La incidencia de los rayos infrarrojos calienta la superficie de la madera, genera la subida de las resinas (en el caso de las coníferas) y favorece a la aparición de fendas.

El deterioro de la madera expuesta a la intemperie es muy lento. La estimación de la profundidad destruida a lo largo de un siglo es de 6mm. Aunque el valor puede variar en función del clima, la especie de madera y la orientación. Algunos autores citan valores de 1 a 13 mm.

#### 2.2.3 Productos químicos

La acción de los productos químicos sobre la madera es de escasa importancia. De hecho, la madera es la mejor opción en presencia de cloruros, un ion altamente corrosivo para otros materiales como el acero. La madera es uno de los materiales preferidos para numerosas aplicaciones, desde depósitos o contenedores de productos químicos hasta edificios donde se almacenan estos productos. Pese a ello, los materiales químicos pueden modificar la resistencia de la madera:

- Hinchazón: El alcohol y otros líquidos orgánicos pueden provocar que la madera aumente sus dimensiones. Su acción es reversible.
- Variación de alguno de los componentes que puede producir cambios permanentes e irreversibles.

De las dos grandes familias arbóreas en las que diferenciamos los tipos de madera, frondosas y coníferas, son las segundas las que mayor resistencia tienen frente a las soluciones químicas (alcalinas y ácidas). Las soluciones alcalinas son más destructivas y merman las propiedades de la madera que originan la disolución de la lignina y la hemicelulosa. El resultado del ataque depende de la cantidad de masa que se vea afectada, piezas completamente sumergidas, solo en superficie o sobre fibras.

Las soluciones ácidas provocan la hidrólisis de la celulosa reduciendo de forma permanente la resistencia mecánica de la madera.

La resistencia a la corrosión se mide a través de valor del pH. Los valores de pH más adecuados en los que debe moverse una solución para estar en contacto con la madera se encuentran entre dos y once.

Generalmente las sales son neutras y la madera no sufre ningún tipo de degradación. Las sales acidas se consideran un ácido débil y tampoco le causaran daños graves a la resistencia de la madera. Sin embargo, las sales alcalinas son perjudiciales para la madera y pueden destruir la lignina de la madera.

#### 2.2.4 Acción mecánica

Los esfuerzos mecánicos también pueden ser motivo de la degradación de la madera, pueden provocar fatiga y pérdida de resistencia. La duración de la carga tiene gran influencia en las deformaciones. Los elementos flectados cargados durante largos periodos de tiempo pueden alcanzar grandes flechas.

En estos casos puede alcanzarse la rotura y es necesario comprobar los apoyos para evitar el colapso de la estructura.

Los daños debidos a la acción mecánica pueden ser debidos por distintos motivos:

- Rigidez insuficiente: Debida a la escasa sección de la pieza. Puede ser debida a un error de cálculo o a la perdida de sección o de resistencia por cualquier otro motivo.
- Deformación excesiva: debida a la fluencia y a la reología propia del material. Esta patología puede acentuarse en piezas obtenidas de árboles sometidos a fuertes vientos de dirección constante.
- Uniones:
  - o Uniones defectuosas por dimensionado insuficiente, diseño inadecuado o ejecución incorrecta.
  - o Uniones excesivamente rígidas que pueden provocar la aparición de fendas.
- Defectos propios de la pieza (grandes nudos, etc.)
- Arrostramiento insuficiente o defectuoso: Esta situación puede producirse en edificios antiguos sometidos a reformas integrales en los que se elimina la tabiquería o en cubiertas.

#### 2.2.5 Fuego

La madera es un material combustible y es susceptible de ser degradada por el fuego. La degradación se produce mediante reacciones químicas que disminuyen gradualmente su sección resistente y pueden provocar su destrucción en función de la duración y la exposición al fuego.

Cuando se produce un incendio tienen lugar dos fases. La de desarrollo inicial y la de pleno desarrollo del incendio. En la primera fase, influyen factores como la combustibilidad del material, la facilidad de ignición y el avance de la llama en la superficie de los materiales. En esta fase es deseable que los materiales no los favorezcan.

En la fase de pleno desarrollo es importante que los materiales que arden impidan el paso de las llamas y el calor durante el mayor tiempo posible.

La madera es un material orgánico y como tal puede arder. Aun así, su comportamiento frente al fuego es muy favorable. Casi nunca es el primer material en arder ya que la superficie de la madera necesita alcanzar una temperatura muy elevada (400°) para comenzar a arder.

- Su baja conductividad térmica hace que la temperatura disminuya hacia su interior.
- La carbonización superficial impide la salida de gases y la penetración del calor.

La combustión de la superficie genera una capa carbonizada que es seis veces más aislante que la madera natural debido a que el valor de la transmitancia térmica es muy bajo. La propagación del calor en el interior es muy difícil y lenta. Gracias a esto la madera interna mantiene sus características mecánicas.

La capacidad portante se ve mermada debido a la pérdida de sección. Esto puede reducir la calidad inicial de la madera.

#### Factores que aceleran la carbonización y la pérdida de sección

- La relación superficie/volumen elevadas: Mayor exposición al fuego.
- Las fendas incrementan los efectos del fuego porque existe una mayor superficie expuesta.
- El uso de madera encolada disminuye la carbonización.
- Cuanto menor sea la densidad de la madera mejor empieza a arder y antes se consume.
- Cuanto menor grado de humedad de equilibrio, mayor es velocidad de carbonización.

Las estructuras de madera actuales combinan esfuerzos entre dos materiales que son la madera y el acero. La acción del fuego sobre los materiales se puede evaluar en función de dos conceptos que hacen referencia a los materiales individuales (reacción al fuego) y a los elementos estructurales (resistencia al fuego).

La reacción al fuego es la capacidad de un material de contribuir o no al desarrollo del fuego.

La resistencia al fuego es el tiempo durante el cual es capaz de cumplir la función para la cual ha sido colocado en el edificio. Se clasifica en:

- Estable al fuego
- Para llamas
- Resistente al fuego

El comportamiento de la madera frente al fuego es mejor que el del acero. Por eso hay que prestar especial atención a las uniones realizadas con elementos metálicos. Los elementos de fijación tipo pasador son caminos de fácil entrada al fuego y las chapas superficiales pueden llegar a desprenderse por quedar unidas a la zona carbonizada.

### 2.3 Patologías producidas por agentes bióticos

Al ser un material orgánico la madera sirve de alimento a diversas especies de insectos y hongos.

Los daños de origen biótico son aquellos causados por organismos vivos. Sin embargo, para la actuación de estos organismos van a influir una serie de factores:

- Especie de madera
- Humedad
- Temperatura
- Presencia de aire y compuestos para alimentarse (celulosa, lignina, almidón)
- Ausencia de sustancias agresivas (compuestos químicos)

#### 2.3.1 Hongos xilófagos (reino vegetal)

Los hongos son unos organismos del reino vegetal que carecen de clorofila de forma que sobreviven como parásitos sobre otros organismos vivos o materia orgánica.

El requisito indispensable para su supervivencia es la humedad. El contenido mínimo de humedad que permite su desarrollo se encuentra entre el 18% y el 20%. La madera que contenga unos valores superiores está expuesta al ataque de hongos, por el contrario, si es inferior estos organismos no pueden desarrollarse. No afectan a las propiedades mecánicas, sólo a aspectos de tipo estético.

Podemos encontrar los siguientes:

##### 2.3.1.1 *Mohos:*

Son hongos microscópicos que se alimentan de las sustancias de reserva de la madera. Se presentan en forma de manchas de diversos colores en la superficie de la madera u otros materiales si se dan las condiciones adecuadas.

##### 2.3.1.2 *Hongos cromógenos*

Penetran en el interior de la madera y atacan el contenido celular de la madera produciendo coloraciones en la misma. Su aparición no afecta a la estructura de la madera ya que no alteran la pared celular responsable de la resistencia de la madera. Los más frecuentes son el azulado y el pasmo de haya (Humedad > 18% - 20%).



Figura 24. Azulado. <https://maderame.com/madera-azulada/>

### 2.3.1.3 Hongos de pudrición

Viven en el interior de la madera alimentándose de los componentes de la pared celular llegando a provocar una destrucción de la estructura anatómica con lo se produce una pérdida de densidad y resistencia. Para que se puedan desarrollar se deben unas condiciones de temperatura y humedad determinadas, la humedad tiene que ser superior al 20% y la temperatura situarse entre 5 y 40°C.

Destacan los siguientes tipos:

- Pudrición parda o cubica: es la más peligrosa, los hongos se alimentan de celulosa dejando un residuo rico en lignina caracterizándose por un color más oscuro. Cuando la pudrición es más intensa, la madera se agrieta formando una estructura de cubos o formas paralelepípedas. Estos cubos se disgregan fácilmente produciéndose una destrucción total de la madera.
- Pudrición blanca o fibrosa: Es producida por hongos que, en este caso, se alimentan de lignina aunque también pueden dañar la celulosa. Este tipo produce una coloración blanquecina y presenta un aspecto fibroso. Afecta más a la madera de frondosas que a la de coníferas. Suelen requerir contenidos de humedad superiores a los que producen la pudrición parda.
- Pudrición blanda: Originada por hongos que atacan principalmente la celulosa de la pared secundaria. La madera atacada adquiere un aspecto final blando o esponjoso. Este tipo de pudrición se produce cuando existen altas condiciones de humedad, tanto en la madera como en el ambiente como madera en contacto con el suelo o el agua.

Los ataques son puntuales, se limitan a la zona expuesta a la humedad, comenzando por la albura y extendiéndose hacia el duramen. Pueden producir el colapso de la estructura por pérdida de apoyo y, en general, pérdida de la estabilidad.

Hay que actuar de forma radical, cortando la zona afectada y colocando una prótesis o sustituyendo la pieza.



Figura 26. Pudrición parda.  
<https://www.fumigaciobcn.cat/hongos-pudricion-la-madera/>



Figura 25. Pudrición blanca.  
<http://blog.simbolocalidad.com/patologias-madera-tratamiento>

### 2.3.2 Insectos xilófagos (reino animal)

Podemos encontrar dos grandes grupos, los coleópteros o insectos de ciclo larvario y los isópteros.

#### Insectos de ciclo larvario (coleópteros)

Atacan a la albura de las distintas especies, pero siempre con grados de humedad relativamente altos. Se trata de insectos voladores cuyo ciclo biológico se inicia cuando la hembra realiza su puesta en las fendas de la madera. Se alimentan de la madera durante su fase larvaria realizando galerías que disminuyen la capacidad resistente de la pieza. Las larvas permanecen en el interior hasta que adquieren cierto desarrollo, es entonces cuando se crean una cámara aislada donde se transforman en insecto adulto. Tras esto rompen la cámara de pupación y sale al exterior para aparearse y reiniciar el ciclo.

Los principales coleópteros xilófagos que podemos encontrar son los siguientes:

- Líctidos o polilla del parqué: Se alimentan exclusivamente de la albura de frondosas como el roble, el olmo o el eucaliptus. Realizan galerías circulares de 1 mm de diámetro en la dirección de la fibra que dejan llenas de serrín. Las condiciones óptimas para su desarrollo corresponden con una humedad entre 16% y 32% y una temperatura de 25°C. El daño más frecuente aparece en los pavimentos de parqué.  
La duración del ciclo larvario suele ser de un año con una rápida reinfestación.
- Curculiónidos (Gorgojo de la madera): Atacan a la albura de frondosas y coníferas. Requieren una humedad superior al 20%. Las galerías son de sección circular de 1 mm de diámetro, similares a las de los anóbidos.  
Atacan a madera semidescompuesta previamente por los hongos de pudrición, Podemos encontrarlos en edificios abandonados, en madera muy deteriorada y con mucha humedad.
- Anóbidos o carcoma común o fina: Afectan a la albura de coníferas y frondosas perforando galerías de 1 a 2 mm. El adulto emerge por un orificio circular de similares dimensiones. El ciclo larvario es de tres años. Las condiciones de humedad para el desarrollo de la larva tienen que ser superiores al 60%.
- Cerambícidos o carcoma grande: Afectan a la albura de coníferas y frondosas perforando galerías ovaladas de entre 6 y 8 mm en la dirección de la fibra y dejan rellenas de serrín compactado. Destaca el *Hylotrupes bajulus* cuyo ataque se centra en madera secas entre el 10% y el 14% de humedad. El ciclo de vida medio es de siete años.

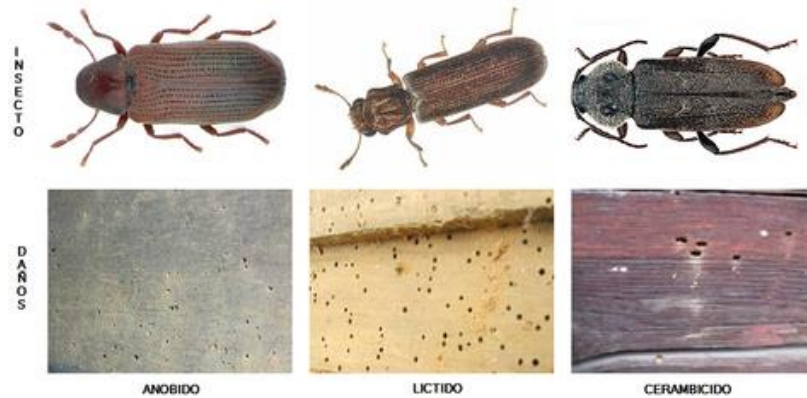


Figura 27. Insectos de ciclo larvario.

### 2.3.3 Isópteros o insectos sociales (termitas):

Son la plaga más peligrosa para la madera, la atacan masivamente y pueden ocasionar su completa degradación.

Las termitas viven bajo una organización social avanzada. Viven formando colonias y sus individuos están separados en castas que desarrollan diferentes funciones para el conjunto.

- Ninfas o reproductores: Se encargan de la reproducción en la propia colonia o abandonándola y creando otras nuevas.
- Soldados: Defienden la colonia.
- Obreros: Realizan los trabajos para la colonia, como buscar alimento, reparar el nido, etc.



Figura 28. Viga atacada por termitas. <http://www.biocea.cl/termitas/>

### Termitas subterráneas:

Los ataques son producidos por las obreras adultas que salen del nido, localizado en el suelo en las proximidades de la madera húmeda, para buscar el alimento a través de unos conductos denominados chimeneas formados a base de material terroso muy compacto que les protege de la luz (son fotofóbicas) y les permite mantener las condiciones de humedad y temperatura que necesitan. Pueden producir el colapso total por la destrucción masiva del material que pasa inadvertida debido a que su capacidad fotofóbica les hace crear una fina lámina protectora que sellan urgentemente en caso de que sea perforada.



Termitas de madera seca:

Habitan en la madera seca. Arrastran la humedad del suelo o zonas húmedas de paso hasta la madera.

2.3.4 Xilófagos marinos

Se alimentan de la madera de estructuras expuestas al agua del mar, desarrollando galerías y cavidades. Pueden producir daños de consideración en estructuras fijas o flotantes sobre el agua del mar.

Se dividen en dos grupos: los moluscos y los crustáceos. Se diferencian en la forma de ataque y en el aspecto que presenta la madera degradada. Los moluscos realizan una degradación en el interior que no es visible mientras que los moluscos la realizan superficial. Afectan a las estructuras de madera de embarcaciones, puertos y muelles.

A continuación, se presenta una tabla resumen en la que se exponen las clases de uso y el riesgo biológico para cada una.

Tabla 1. *Clases de uso y riesgo biológico.*

	Clase de uso	Situación	Permanencia en exposición	Aparición de agente biológicos			
				Hongos	Coleópteros	Termitas	Xilófagos marinos
Sin contacto con el suelo	1	Bajo cubierta (ambiente seco)	Ninguna				
	2	Bajo cubierta (riesgo de humedad)	Ocasional				
	3	3.1 Al descubierto (protegido)	Frecuente				
		3.2 Al descubierto (no protegido)					
	4	En contacto con el suelo o agua dulce	Permanente				
5	En agua salada						

Nota. Recuperado de: Basterra. L.A. *Construcción de estructuras de madera.* Universidad de Valladolid.

### **3 MÉTODOS DE INTERVENCIÓN**

#### **3.1 Durabilidad natural e impregnabilidad**

Antes de tratar las diferentes maneras de proteger la madera antes de colocación en obra frente a las diferentes patologías que puedan afectarle hay que destacar que la madera posee una capacidad propia para resistir a todos estos organismos destructores (hongos xilófagos, insectos de ciclo larvario, termitas, xilófagos marinos, etc.), la aptitud a la se hace referencia es la durabilidad natural y depende de una serie de factores:

- La elección de la especie de madera.
- Si la madera es de duramen o de albura. La de duramen es madera estructural y más envejecida mientras que la de albura es la exterior posee células vivas y a través de ella circula la savia.
- El diseño que evite la filtración y el depósito de agua.
- Tipo de exposición.

La elección de una madera con una buena durabilidad natural es la primera medida que se debe tomar, en caso de que la durabilidad de la madera sea menor se pueden utilizar tratamientos preventivos que la mejoren. En este caso hay que tener en cuenta la impregnabilidad de la madera o capacidad que presenta para que una sustancia entre en su interior. La mayoría de las soluciones para tratar la madera utilizan el agua que contiene la madera como distribuidor de la sustancia o líquido protector. La proporción de líquido protector que absorbe la madera depende de la estructura anatómica de la madera (dimensión, forma, número de células que tiene por unidad de volumen, etc.).

La impregnabilidad varía según la especie y la parte del árbol de la que proceda. Dentro del tejido leñoso diferenciamos entre otros el duramen y la albura. La formación del duramen viene dada por una serie de modificaciones tanto anatómicas como químicas. Las anatómicas consisten en un taponamiento total o parcial de los tejidos que distribuyen la savia. Las químicas tienen lugar al impregnarse las células con otros productos que produce el árbol (resinas, aceites, etc) que le confieren a la madera un color oscuro.

A todos estos cambios o transformaciones que se producen en el duramen se le denomina duraminización, es un método natural de protección de la madera frente a los hongos e insectos xilófagos como ya he mencionado por la obturación e impregnación con sustancias antisépticas. Por todo esto, la madera de albura es más impregnable que la de duramen, aunque no siempre es fácil distinguir entre la madera de albura y la de duramen por eso es importante conocer la durabilidad de la albura y la impregnabilidad de la madera de duramen.

Como norma general la madera con menor durabilidad natural es más fácil de impregnar.

La penetración se realiza mediante tratamientos de autoclave en vacío y presión. También se utilizan procesos más ligeros como la inmersión o el pincelado.

La norma UNE 350-2:1995 establece una clasificación para la impregnabilidad de la madera.

- Impregnable: Muy fácil de impregnar, la madera aserrada puede ser impregnada totalmente con un tratamiento a presión sin dificultad.
- Medianamente impregnable: Fácil de impregnar. Normalmente no es posible una impregnación completa, pero después de 2 o 3 horas de tratamiento a presión se puede alcanzar una penetración de más de 6 mm en las coníferas. En las frondosas se puede conseguir impregnación en una proporción grande de los vasos.
- Poco impregnable: Difícil de impregnar. Después de 3 o 4 horas de tratamiento bajo presión se alcanzan solo penetraciones de 3 a 6 mm.
- No Impregnable: Prácticamente imposible de impregnar. Después de 3 o 4 horas de tratamiento bajo presión solo absorben pequeñas cantidades de producto. Penetraciones longitudinales y laterales mínimas.

### **3.2 Protección preventiva de la madera**

Hay especies de madera que necesitan ser tratadas para aumentar su durabilidad y evitar que los diferentes agentes patógenos la debiliten con el paso del tiempo.

La protección preventiva intenta evitar que esto ocurra y para ello hay que:

- Realizar una selección adecuada de la especie de madera que se va a utilizar.
- Realizar una correcta instalación del producto. El diseño constructivo debe de ejecutarse de forma que se eviten ciertos problemas posteriormente. El proyectista debe tener en cuenta que la gran parte de los ataques no se producen con humedades inferiores de 18%.
  - o Evitar o reducir las humedades. La humedad debe encontrarse entre un 20% y un 22 %. Debe ser estable y duradera.
  - o Aislar y proteger la estructura del terreno y en los empotramientos mediante láminas impermeables o espacios intermedios.
  - o Favorecer la ventilación sobre todo en zonas de riesgo como el apoyo de las cabezas de las vigas en los muros.
  - o Diseñar y ejecutar correctamente los aleros para proteger la madera de las lluvias.
  - o Evitar humedades en la cubierta e instalaciones.
  - o Evitar la aparición de condensaciones.
  - o Facilitar el acceso y la iluminación para realizar inspecciones rutinarias y preventivas, de mantenimiento y renovación de protecciones.
- Seleccionar el producto protector adecuado. Hay que tener en cuenta tanto la durabilidad natural como la impregnabilidad ya mencionadas, las clases de uso y si es necesario la utilización de un tratamiento protector adecuado tanto para la madera como para los elementos metálicos de las uniones.

#### **3.2.1 Tratamientos protectores**

Estos tratamientos mejoran las características propias de la madera frente a los agentes degradadores. Generalmente consisten en introducir productos químicos en la madera con el objetivo de eliminar la presencia de los agentes degradadores e impedir a su vez que puedan volver a atacar la madera. El tratamiento que se aplique va a depender de:

- La especie de madera que se emplee: La madera de las frondosas y las coníferas reaccionan de forma diferente frente a los ataques de los agentes bióticos. También influye la facilidad de impregnación de cada especie y puede ser que un producto tenga mayor dificultad de penetración en las frondosas que en las coníferas.
- Si se trata de madera de duramen o de albura: Como ya se ha mencionado los hongos de pudrición atacan a la albura para alcanzar el duramen. Sin embargo, los coleópteros atacan únicamente a la albura alimentándose de ella. Cuando no se puede diferenciar la albura del duramen se debe considerar, hablando en términos de durabilidad, que todo es albura y cuando hablamos de impregnabilidad se debe considerar que todo es duramen.
- El producto protector empleado y los valores de penetración y de retención que se seleccionen según la norma UNE EN 351-1:2008. Como ya se ha comentado la impregnabilidad en las frondosas y en las coníferas no es igual para un mismo producto, al igual que ocurre cuando la madera es de duramen o de albura.

Los tratamientos se pueden clasificar en función del grado de penetración del tratamiento protección y según el nivel de humedad presente en el momento de la impregnación. Los primeros los podemos clasificar en:

- Tratamientos superficiales: Con una penetración entre 1 y 3 mm.
- Tratamientos medios: Penetración de 3 milímetros e inferior al 75 % del área impregnable de la pieza.
- Tratamientos profundos: Penetración superior al 75% del área potencialmente impregnable de la pieza

La norma EN 351-1: 2007 realiza una clasificación de la penetración de los tratamientos.

Tabla 2. Penetración de los tratamientos

Clase de penetración	Especificaciones
NP1	Ninguna
NP2	Al menos 3 mm en las caras laterales
NP3	Al menos 6 mm en las caras laterales en la albura
NP4	Al menos 25 mm en las caras laterales solo aplicable a redondos de especies no impregnables
NP5	Penetración total en la albura
NP6	Penetración total en la albura y al menos 6 mm en la madera de duramen expuesta

Nota. Recuperado de: *norma EN 351-1:2007*

El tipo de producto protector dependerá de la penetración y la retención del tipo de madera sobre el que se va a actuar.

La protección que se vaya a utilizar tendrá mucho que ver con la situación en la que se van a colocar las piezas. Las estructuras en contacto con el terreno o con humedad deberán protegerse mejor que aquellas que se hallen bajo cubierta.

El CTE establece una relación entre la clase de uso y el nivel de penetración para que la madera alcance un nivel de protección adecuado.

**Tabla 3. Tipo de protección según la clase de uso**

	Clase de uso	Situación	Tipo de protección CTE	UNE EN 351-1	Riesgo especial
Sin contacto con el suelo	1	Bajo cubierta	Ninguno – superficial (1)	NP 1	Media
	2	Bajo cubierta	Superficial (2)(3)		
	3	Al descubierto	Media	NP2 (3)	Profunda
		Al descubierto		NP3 (4)	
	4	En contacto con el suelo o agua dulce	Profunda	NP4 - NP5 (5)	
5	En agua salada	NP6 (4)			

Nota. Recuperado de: Basterra. L.A. *Construcción de estructuras de madera*. Universidad de Valladolid.

1: Se recomienda un tratamiento superficial con un producto insecticida.

2: Tratamiento superficial con insecticida y funguicida

3: Elementos situados en cubiertas no ventiladas, se asignan a la clase 3.1 salvo que se incorpore una lámina impermeable en cuyo caso se asigna a la clase 2. También se consideran 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: Solo para el caso de madera de sección circular (rollizo).

### 3.2.1.1 *Tratamientos con madera húmeda*

Los tratamientos en función del contenido de humedad se clasifican en:

- Pulverización superficial: Tratamiento preventivo temporal, aplicable a maderas recién apeadas y a tablas y tablones húmedos en la serrería.
- Sustitución de savia: sistema protector de los troncos recién cortados, consiste en sustituir la savia mediante un lavado interno de la madera que se logra al inyectar una solución acuosa o por la parte más gruesa del rollizo que avanzando por la albura con el movimiento de la savia la sustituye.
- Difusión: Tratamiento que se vale del agua libre de los lúmenes celulares para introducir las materias activas del protector en el interior de la madera con alto grado de humedad.

El proceso consta de varias fases:

- Desecación parcial de la madera (superior al 30%)
- Inmersión de la madera en la solución protectora, preferiblemente más concentrada que en otros sistemas
- Periodo de difusión en atmosfera saturada de humedad
- Secado final de la madera tomando recaudos para evitar que se formen fendas.

### 3.2.1.2 *Tratamientos con madera seca*

Son los más empleados y necesitan una serie de labores previas que posteriormente permitirán obtener mejores resultados. Entre estas tareas podemos encontrar el secado y el incisionado.

- Secado: Evita la aparición de hongos y pudriciones. El secado de la pieza permite que sus propiedades resistentes aumenten. El problema es que pueden aparecer defectos como grietas internas y externas o hundimientos de la fibra.

Puede realizarse de diferentes formas:

- Secado natural: Se colocan las piezas en pilas de tal manera, que el aire pueda circular entre ellas. La humedad resultante oscilara entre el 13% y el 17% dependiendo de la época del año.
- Secado artificial: Es un proceso lento mediante el cual los valores de humedad resultantes son insuficientes para algunas aplicaciones.

Se puede ejecutar mediante distintos procedimientos:

- Secado por aire: Se inyecta aire en cámaras cerradas, la madera estará expuesta a aire caliente que irá aumentando de temperatura a medida que progresa el secado.
- Secado por alta frecuencia: Se aplica a la madera una corriente alterna de alta frecuencia que la calienta, siendo uniforme el secado.
- Secado por rayos infrarrojos: Se somete a la madera a radiaciones infrarrojas consiguiendo un secado uniforme. Coste elevado.

### 3.2.1.3 *Procesos sin autoclave*

- Pincelado: Este tratamiento se aplica mediante pincel, brocha o rodillo con un protector en base orgánica o disolvente en general de tres manos. El producto penetra por capilaridad en los poros. La penetración no suele alcanzar más de los 2 o 3 cm en maderas con alta permeabilidad. El resultado es una capa tóxica superficial.

En caso de que el entorno sea desfavorable es recomendable repetir el proceso cada año. Con este tipo de tratamiento y en función del protector utilizado se consigue una protección superficial frente agentes bióticos y contra la fotodegradación. Se suelen aplicar en maderas colocadas en el exterior.

- Pulverizado: Similar al pincelado en cuanto a su efectividad. Los protectores utilizados son similares. Se aplica sobre la superficie con un pulverizador manual o mecánico consiguiendo una protección superficial contra agentes bióticos y la fotodegradación de la madera.

Para aplicar este sistema, el contenido de humedad puede ser inferior a 18% si el protector es un disolvente orgánico o acuoso. Si se necesita proteger la madera frente a hongos cromógenos y mohos entonces se puede aplicar con una humedad superior a 28%.

- Inmersión: Consiste en sumergir la madera seca en el producto protector durante un determinado periodo de tiempo. Podemos distinguir diferentes modalidades:

- Inmersión breve: Consiste en sumergir la madera en un protector hidrosoluble o disolvente orgánico durante un periodo de entre 10 segundos y 10 minutos dependiendo de la especie, las dimensiones y del tipo de protector. El producto protector se introduce por capilaridad desde la superficie hasta el interior.

Se utiliza para impregnar piezas acabadas de poco espesor que vayan a colocarse en un ambiente seco y que no pueden ser sometidas a un tratamiento más completo.

La ventaja que presenta sobre las anteriores es que se consigue un mayor contacto entre las superficies de la madera a proteger y el producto protector.

- Inmersión prolongada: No es una técnica muy utilizada porque, aunque se consigue un alto grado de penetración se necesita mucho tiempo para conseguirlo. Una inmersión prolongada en protectores hidrosolubles proporciona buenas retenciones y penetraciones muy poco profundas. Las maderas finas que se sumergen en creosotas quedan protegidas para su uso exterior si el nivel de protección no tiene que ser muy elevado. Cuando se usen protectores orgánicos solo se podrán realizar inmersiones de piezas delgadas que se vayan a impregnar completamente debido a las bajas solubilidades utilizadas y a las bajas retenciones que se alcanzan.

- Inmersión caliente frío: Consiste en variar la temperatura del protector para conseguir disminuir la presión capilar y facilitar la penetración. Se baña la madera o bien en agua o en una solución de producto protector a altas temperaturas. Posteriormente, se realiza una inmersión a temperatura ambiente. La duración del proceso suele durar unas 24 horas, de 1 a 4 para la inmersión a altas temperaturas y el resto a temperatura ambiente.

La protección que se obtiene suele ser de buena calidad, aplicándose a aquellas maderas que van a estar expuestas a unas condiciones muy desfavorables.

La efectividad del proceso se basa en:

- La diferencia de temperaturas, cuanto mayor es la diferencia más eficaz es.
- El tiempo de mantenimiento de la madera en la inmersión en frío, más efectivo cuanto mayor tiempo este sumergido.

Los protectores orgánicos y las creosotas son los productos que mejor funcionan con esta técnica porque pueden llegar a alcanzar los 100°C.

Existen tres formas distintas para aplicar el producto.

- Calentando y enfriando simultáneamente la madera y el protector.
  - Calentando la madera y trasladándola posteriormente al recipiente con el producto frío.
  - Sustituyendo el protector caliente por el frío cuna vez que está caliente.
- Difusión: Es un proceso en el que se obtiene una solución de concentración homogénea a partir de otras dos que son distintas. Esta técnica tiene dos fases.

En la primera, se sumerge la madera en el protector hasta que se absorba de forma superficial y lo más rápidamente posible la cantidad necesaria para conseguir la protección que se quiere. El tiempo de la inmersión depende de la retención que se requiera, de la viscosidad de la solución protectora (se puede reducir bajando la concentración, pero esto supone que la madera tenga que absorber más cantidad de solución protectora para obtener la misma retención. También se puede disminuir la viscosidad calentando el protector, pero tampoco es aconsejable porque esto provoca que salga el aire de la madera y dificulta la penetración) y de la permeabilidad de la madera. En la segunda, se extrae la madera y se almacena en una sala con una atmosfera saturada de humedad para que se difunda el protector absorbido por la superficie interior de la madera. La humedad de la madera antes de la impregnación debe ser la mínima posible para conseguir que la absorción superficial se realice en el menor tiempo posible.

Este sistema permite alcanzar unos niveles de protección muy elevados, pero no puede utilizar mezclas de productos que reaccionen entre sí y precipitar en forma de compuestos insolubles. Por eso no se puede exponer la madera así tratada a situaciones en contacto con el agua. Para evitar esto se puede aplicar una segunda difusión para precipitar el primero y hacer que pierda su solubilidad. La difusión también puede conseguirse recubriendo las superficies externas con pastas protectoras que sustituyan al producto protector y posteriormente almacenarlas en una atmosfera húmeda el tiempo necesario para completar la impregnación.

Un ejemplo es el sistema Cobra mediante el cual la pasta se inyecta de forma directa en la madera mediante una aguja. Se suele utilizar en zonas donde es contacto con el terreno proporciona el agua necesaria para el transporte de la pasta.

#### 3.2.1.4 Procesos con autoclave

En la actualidad, la plantas tipo autoclave son las más utilizadas para realizar un tratamiento protector a la madera.

Un autoclave es un depósito metálico y hermético que soporta grandes presiones y que permite aplicar tratamientos que mejoran la resistencia de la madera.



Figura 29. Autoclave.  
<https://maderame.com/tratamiento-autoclave/>



El tratamiento en autoclave el tanto preventivo como curativo. Es un proceso en profundidad que no se puede alcanzar aplicando productos similares a mano. Consiste en introducir la madera en un cilindro para posteriormente realizarle un doble vacío e inyectar a continuación las sales protectoras consiguiendo una protección perimetral de la pared celular sin rellenar todo el duramen de la célula.

Existen varias técnicas como la célula vacía (rueping, Lowry) o cíclicos (OPM y APM). Pero la más utilizada es la técnica Bethell o sistema de célula llena que consiste en:

- Vacío inicial. Se introduce la madera en la cámara metálica para extraer el aire y la humedad de las cavidades de la madera.
- Presión y/o impregnación. Se comienza a aplicar el producto a aumentando la presión para que se impregne y se absorba.
- Vacío final. Se extrae el producto sobrante y se vuelve a aplicar un nuevo vacío para secar o limpiar la madera de los restos del producto aplicado.

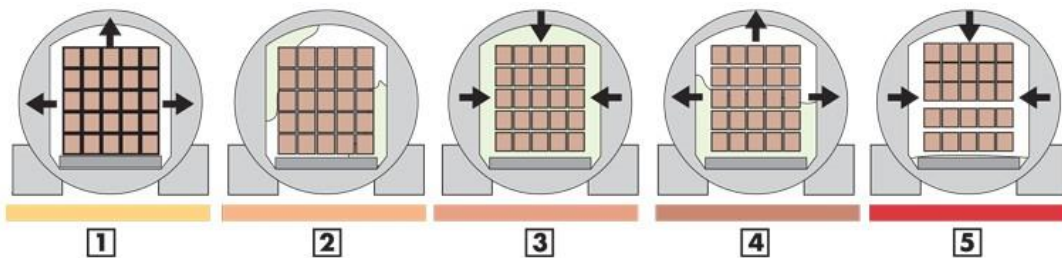


Figura 30. Protección mediante autoclave. <https://www.maderasmenur.com/proteccion-la-madera-mediante-tratamiento-sistema-autoclave/>

- 1- Vaciado del aire existente en las cavidades de la madera.
- 2- Introducción del producto protector.
- 3- Presión para impregnar el producto por las cavidades de la madera.
- 4- Retirada del líquido sobrante.
- 5- Vacío final para extraer el producto sobrante y limpiar la madera de los restos.

Cuando la humedad supera el 30%, los valores de penetración y retención no son los adecuados. Si la madera no está seca antes del tratamiento hay que secarla en el cilindro de impregnación calentándola, bien con vapor de agua o con el protector para posteriormente someterla a un vacío que ayude a una evaporación rápida del agua hasta que se alcance el valor deseado de humedad.

Ventajas del tratamiento en autoclave:

- Mayor durabilidad de la madera. Mayor resistencia frente a organismos xilófagos.
- Un comportamiento mejor frente a condiciones ambientales adversas.
- Mayor estabilidad.
- Se pueden aplicar simultáneamente protectores ignífugos.
- Menor coste por mantenimiento de la madera.

Cuando actuamos en rehabilitaciones hablamos de tratamientos curativos los cuales necesitan un método de aplicación y productos específicos. El tratamiento general consiste en realizar una inyección en profundidad como mínimo NP5 para conseguir aplicar el tratamiento en el duramen.

Existen también termotratamientos, ya que está demostrado que cuando la madera se quema se endurece y aumenta de densidad lo que le confiere una mayor protección. Se lleva a cabo sometiendo a la madera a una temperatura entorno a 200° C. Este tipo de tratamiento aumenta la durabilidad de la pieza sobre todo al ataque de hongos xilófagos, pero puede reducir sus propiedades mecánicas. Algunas especies se oscurecen.

### 3.2.1.5 Madera modificada

La industria de la madera avanza en nuevas técnicas para mejorar las características de la madera, uno de estos casos es la madera modificada. Las primeras investigaciones sobre este tipo de madera surgen a principios de siglo XX aunque su comercialización ha comenzado recientemente. Ha surgido debido al aumento de la necesidad de proteger la madera mediante tratamientos benignos y pasivos que tengan en cuenta el medioambiente.

En los casos anteriores, era preciso aplicar un producto químico para aumentar la durabilidad de la madera, sin embargo la madera modificada se obtiene como resultado de una iteración entre un agente químico, biológico o físico, sin añadir biocidas, obteniendo un material nuevo con distintas propiedades. Uno de los objetivos es alterar la estructura molecular actuando sobre los grupos hidroxilos, encargados de la hinchazón y merma, disminuyéndolos o bloqueándolos. Así, se puede mejorar la durabilidad frente a xilófagos y hongos de pudrición.

Podemos encontrar diferentes tipos de tratamiento:

- Obtenida mediante modificación térmica:
  - o Madera termotratada: Se obtiene mediante un proceso en el que se somete a la madera, en una atmosfera inerte o con bajo contenido de oxígeno, a temperaturas entre los 180 y 260 grados centígrados. Este tratamiento implica una mayor durabilidad natural, un comportamiento más estable frente a las variaciones de humedad, disminución de la humedad de equilibrio higroscópico, la densidad disminuye entre un 8% y un 10%, disminuyen las propiedades mecánicas, la rigidez, el pH y la conductividad térmica y por último, se oscurece la madera. Se empela par revestimientos tanto interiores como exteriores, entarimados, pavimentos exteriores, mobiliario, etc.



Figura 31. Centro Cultural de Lérez. Arquitectos Jorge Rodríguez+José María Soto.  
<https://maderayconstruccion.com/madera-modificada/>



Figura 32. Escuela Mouriz. Arquitecto: Nuno Lacerda. <https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada>

- Obtenida mediante modificación química:
  - Consiste en producir una reacción química que permita formar enlaces covalentes entre los componentes de la pared celular y un reactivo químico.
  - Madera acetilada: Se obtiene produciendo una reacción química que transforma los grupos hidroxilos en grupos acetilos mediante la impregnación de la madera con anhídrido acético. Se realiza en un autoclave con una atmosfera y una temperatura controladas. El tratamiento consigue disminuir la hinchazón y merma de la madera, la humedad de equilibrio higroscópico, la vulnerabilidad a al ataque de insectos y la conductividad térmica. Por el contrario, aumenta la durabilidad. En este caso, la madera no cambia de color. El proceso no produce grandes modificaciones en las propiedades mecánicas pudiendo utilizarse para uso estructural. Suele utilizarse para carpinterías, mobiliario, fachadas, pavimentos, puentes, etc.



Figura 33. Puente de Sneek. Aruitecto: Achterbosch Architectuur y Onix.  
<https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada>



Figura 34. Estación marítima de Vilanova de Arousa. Arquitecto: 2C Arquitectos.  
<https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada>

- Madera furfurilada: Se obtiene mediante un tratamiento a presión/ vacío realizado en un autoclave con alcohol furfurílico. Tras el proceso en el autoclave se produce un secado y un curado que permite la polimerización de los compuestos químicos en la estructura de la madera. Disminuyen la hinchazón y la merma y la vulnerabilidad a los insectos. Aumentan la durabilidad natural, la densidad y la dureza y las propiedades mecánicas excepto la resistencia al impacto. La madera adquiere un color oscuro y la calidad es uniforme en todo el grosor. Sus usos principales son en fachadas, pavimentos exteriores y cubiertas de embarcaciones.



Figura 35. Casa para brotes. Arquitecto: TYIN tegnestue. <https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada>

### 3.2.2 Productos protectores

En 1829 se patentó un producto basado en la momificación de los egipcios como producto protector de la madera. Para ello se utilizó el sulfato de cobre.

En 1836 aparecen por primera vez las creosotas como protector de la madera. El proceso se realizaba en tanques metálicos por lo que se piensa que ese fue el inicio del tratamiento en autoclave.

En 1883 se establecieron una serie de normas para la protección de la madera. Así se comenzó a proteger la madera frente a las patologías que pudieran afectarle y reducir sus cualidades, mediante la impregnación con protectores químicos.

Estos productos, están compuestos por materias activas, productos fijadores y solventes. Estas materias tienen propiedades insecticidas o funguicidas o ignífugas y se fijan a la madera por medio de productos fijadores. Estos productos se introducen en la madera a través del solvente que los distribuye por el material.

Sus principales características son:

- Registro del producto en el Ministerio de Sanidad donde se especifica sus aplicaciones, la manera de manipularlos y los posibles riesgos de la incorrecta manipulación. Deben cumplir unos requisitos en cuanto a la toxicidad tanto para el hombre como para el medio ambiente. Deben disponer de una ficha técnica y de seguridad junto con la fórmula y la dosis de aplicación.
- No pueden ser corrosivos para los metales.
- No pueden ser disueltos por el agua tanto dulce como salada.
- Deben ser efectivos frente al agente degradador (biocidas), la comprobación se realiza mediante ensayos y con el posterior informe emitido por laboratorios cualificados.
- No deben ser evaporables, hay que asegurar la permanencia del producto durante un periodo de tiempo.

- No deben alterar las propiedades de la madera, en caso de hacerlo deben conocerse las consecuencias.
- No deben aumentar la inflamabilidad de la madera.

Debido a la diversidad de variables que forman parte de un producto protector como la composición, la presentación, las aplicaciones, la efectividad, manipulación, métodos de tratamiento, compatibilidades con otros productos, etc, los fabricantes deben proporcionar la mayor cantidad de información sobre el producto.

Todo producto protector de la madera consta de:

- Disolvente: Transporte de las materias activas para entrar en la madera.
- Materias activas o biocidas.
- Coadyuvantes: Aumentan la efectividad del protector.

Entre los productos protectores que se pueden encontrar distinguimos:

3.2.2.1 *Productos contra daños abióticos:* Con ellos se consigue una protección superficial. Protegen la madera contra los agentes atmosféricos como el sol, la lluvia o los cambios de humedad. Es necesario eliminar la zona afectada antes de aplicar el producto.

- Revestimientos:
  - Recubrimientos opacos pigmentados:
    - Base agua: Pintura plástica y dispersiones: Material de recubrimiento pigmentado, que se puede presentar en forma líquida, en forma de pasta o en polvo que forma una pátina opaca protectora. Se puede utilizar tanto en maderas interiores como exteriores.
    - Base disolvente: Entre los que podemos encontrar esmaltes sintéticos y lacas.
  - Recubrimientos transparentes:
    - Barnices: Material de recubrimiento que forma una película sólida y transparente con propiedades protectoras o decorativas. Se aplica tanto en maderas de interior como de exterior.
- Protectores:
  - Lasures: Producto pigmentado a poro abierto que les permite intercambiar humedad con el ambiente. Llevan productos biocidas (insecticidas y funguicidas) y filtros solares (fotoprotectores) que retrasan la oxidación de la madera por los rayos UV y como consecuencia retardan el cambio de color de la madera debido al sol. Se aplica en madera de interior y exterior.

3.2.2.2 *Protectores contra daños bióticos:* Pueden agruparse en cuatro familias.

- Productos en base de disolventes orgánicos: Son productos compuestos por formulaciones complejas en las que participan:
  - Principios activos: resinas.
  - Compuestos que aseguran la estabilidad del producto y la fijación de los principios activos en el interior de la madera: resinas

- Disolventes orgánicos, hidrocarburos derivados del petróleo.

Cuando el disolvente se ha evaporado, la madera queda limpia, sin pérdida de color y puede ser tratada con cualquier tipo de acabado. Se aplican sobre madera seca, con un contenido de humedad de entre 7 y 15 % mediante tratamientos superficiales o en profundidad.

Sirven tanto para tratamientos curativos como preventivos y tienen un alto poder de penetración.

Algunos contienen un agente espumógeno que junto con la cantidad adecuada de agua le permite introducirse por defectos propios de la madera como fendas u oquedades.

Sirve como protección frente a hongos cromógenos, de pudrición, insectos xilófagos larvarios y termitas.

- Protectores hidrosolubles: son mezclas de sales y óxidos minerales diluidos en una solución líquida y con una concentración determinada que varía en función de la protección que se desee, del método de aplicación y la especie de madera.

Se distinguen los siguientes productos:

- Productos de fijación rápida y no fácilmente deslavables.
- Productos de fijación lenta.
- Productos carentes de sales fijadoras o deslavables.

Opcionalmente se pueden añadir productos que ayudan a la penetración como el bórax.

Se aplican antes de la puesta en obra y con técnicas que permiten una penetración profunda: autoclave, difusión, etc.

Tras aplicarlos es necesario un secado en el que se pueden producir fendas o deformaciones según la madera y la naturaleza del secado.

Tras aplicarse este tipo de protector la madera suele quedar coloreada.

Se aplican a la madera para evitar ataques de hongos cromógenos, de pudrición, insectos xilófagos larvarios, termitas, moluscos y crustáceos xilófagos.

- Protectores hidrodispersables: Son mezclas de principios activos no hidrosolubles a los que se le añade un emulgente para producir una buena dispersión en agua. Es un producto intermedio entre los dos anteriores, similar a los hidrosolubles en relación con medio de penetración y a los disolventes orgánicos en cuanto a los principios activos.

Se aplican mediante procedimientos superficiales, pincelado, pulverización e inmersión breve, dependiendo la penetración del tamaño con el que son emulsionados los principios activos.

En comparación con los disolventes orgánicos, tienen menos poder de penetración y son menos contaminantes pero no suelen alterar el color de la madera.

Protegen frente al ataque de hongos cromógenos, de pudrición, insectos xilófagos larvarios y termitas.

- Productos orgánicos naturales: Son fruto de la destilación del alquitrán (creosotas) o de la pirolisis del petróleo.  
Se trata de aceites de composición química compleja que destacan por su viscosidad, densidad, curva de destilación y su contenido de naftalenos, antracenos y productos fenólicos que determinan su eficacia. Solo se pueden utilizar sobre madera seca y la madera tratada con ellos no admite acabados.  
Su aplicación se realiza mediante métodos como la inmersión caliente-fría o la impregnación a presión en autoclave.  
Se pueden utilizar frente a hongos cromógenos, de pudrición, insectos xilófagos larvarios termitas, moluscos y crustáceos xilófagos.  
El uso de la creosota está reglamentado y se imponen limitaciones a su comercialización y uso.
- Productos mixtos: Son productos novedosos cuyos principios activos mezclan sales minerales con productos de síntesis.  
Se utilizan frente hongos cromógenos, de pudrición, insectos xilófagos larvarios y termitas.

La elección del producto protector se realiza teniendo en cuenta los siguientes condicionantes.

- La clase de uso.
- La facilidad de impregnación, teniendo en cuenta la penetración y la retención adecuada.
- La durabilidad.

A continuación se expone una tabla resumen de los productos protectores, los métodos de aplicación y el alcance de cada uno.

**Tabla 4. Relación entre protectores, métodos de aplicación y su alcance.**

	Alcance	Métodos	Productos				Clase EN 351-1:2007
			Hidrodispensables	Hidrosolubles	En disolventes	Orgánicos naturales	
Superficial	Media 3mm > 1 mm	Pincelado Pulverización o riego Inmersión breve					NP1-NP2
Media	>3mm <75% vol	Inmersión prolongada Desplazamiento de savia Autoclave (pre) Inyección o implantes (post)					NP3-NP4
Profunda	>75% vol	Autoclave					NP5-NP6

Nota. Recuperado de: Basterra. L.A. *Construcción de estructuras de madera*. Universidad de Valladolid.



### 3.2.2.3 Protección contra la corrosión de los elementos metálicos

Las actuales estructuras de madera combinan los esfuerzos de la madera y el acero. Las piezas metálicas de las uniones metálicas requieren un acero específico o una protección en función de la clase de servicio que se les asigne.

En las clases de servicio 1 y 2 si se emplea acero galvanizado en caliente, la protección Fe/Zn 12c que aparece en la tabla debe sustituirse con Z 275 y en la clase de servicio 3 la protección Fe/Zn 25c debe sustituirse por Z 350. En condiciones expuestas especialmente a la corrosión debe considerarse la utilización de Fe/Zn 40c, un galvanizado en caliente más grueso o acero inoxidable. (Basterra Otero, 2008, p.72)

Tabla 5. Protección frente a la corrosión.

Elementos de fijación	Clases de servicio		
	1	2	3
Clavos y tirafondos con $d \leq 4$ mm	Ninguna	Fe/Zn 12c	Fe/Zn 25c
Pernos, pasadores y clavos con $d > 4$ mm		Ninguna	
Grapas	Fe/Zn 12 c	Fe/Zn 12 c	Acero inoxidable
Placas dentadas y chapas de acero con $e \leq 3$ mm			
Chapas de acero con $e > 3$ mm y hasta 5 mm	Ninguna	Ninguna	Fe/Zn 25 c
Chapas de acero con $e > 5$ mm			

Nota. Recuperado de: Basterra. L.A. *Construcción de estructuras de madera*. Universidad de Valladolid.

### 3.2.2.4 Protección contra el fuego.

La madera es un material combustible y como tal puede quemarse y por tanto reducir su sección. En caso de que se produzca un incendio se produce una combustión rápida de la superficie de la madera generando una capa de carbonizada que tiene unas propiedades aislantes seis veces mayores a la madera natural impidiendo la combustión de toda la pieza. Cuando el incendio está extinto, de la pieza original podemos diferenciar dos partes, la parte interior que no ha entrado en contacto con el fuego y que mantiene su capacidad resistente y en el exterior, toda la superficie carbonizada forma lo que se denomina sección residual la cual ha protegido el interior pero ha perdido su capacidad resistente. Por tanto, los esfuerzos antes soportados por una estructura mayor ahora los sustenta una estructura inferior que quizá no tenga la capacidad suficiente y esto produzca el colapso de la estructura. Para evitar esto o darle más posibilidades a la estructura para que se mantenga en pie, una medida preventiva que se puede tomar es sobredimensionar los elementos estructurales para que la sección intacta al final de un incendio pueda sustentar el edificio.

Aun así, la madera es altamente inflamable y necesita medios efectivos de protección.

- Protección activa: Apaga un fuego activo.
- Protección pasiva: Evita que se produzca o reduce los daños del fuego.

La protección pasiva puede llevarse a cabo mediante diferentes tipos de tratamiento.

- Tratamientos ignífugos
- Tratamientos intumescentes
- Tratamientos protectores

Antes de describir las características de cada uno hay que destacar que los revestimientos ignífugos disminuyen la reacción al fuego disminuyendo su combustibilidad y los humos y gases de la combustión mientras que los intumescentes se encargan de proteger al elemento estructural aumentando su resistencia al fuego y su tiempo de vida.

### Tratamientos ignífugos

La ignifugación de la madera tiene como fin mejorar en cierta manera su reacción al fuego. La resistencia al fuego de la madera no varía por el tratamiento, pero si le aporta cierto retraso a la combustión lo que le confiere un mayor tiempo de resistencia. Son retardantes del fuego.

Actúan de la siguiente manera:

- Evitando la formación de la llama: reaccionan desprendiendo gases incombustibles que al descomponerse térmicamente acaparan el oxígeno y evitan la combustión
- Reduciendo la temperatura del punto donde surge el incendio.
- Suprimiendo o reduciendo mediante capas aislante de carbón la conducción del calor al resto de la madera.

En función de donde se colocan o de cómo se introducen los productos en la madera se pueden distinguir dos tipos de tratamiento, en profundidad o superficial.

- Ignifugación en profundidad:

Para madera maciza, se puede realizar mediante un proceso de vacío y presión en autoclave o mediante una inmersión caliente. Con esta última se consiguen penetraciones inferiores (10 mm – 20 mm).

Para tableros, existen diferentes métodos.

- a) Tras haber fabricado el tablero se introduce en el autoclave para la impregnación.
- b) Se ejecuta mediante impregnación de las chapas antes del encolado, tras esto se encolan, se arman y se prensan.
- c) Los productos ignífugos se añaden al adhesivo utilizado en su fabricación.

- Ignifugación superficial:

Los productos se colocan sobre la superficie de la madera aplicándolos mediante pincelado, pulverización, inmersión o proyección. Ante la acción del fuego se hinchan formando una capa aislante que retrasa la combustión de la madera.

La durabilidad de estos sistemas se encuentra entre los 5 y 10 años y es necesario renovarlos.

Los más utilizados son los barnices y pinturas.

Tratamientos intumescentes

Son productos que bajo la acción del calor o de la llama desarrolla una espuma aislante y protectora de baja conductividad térmica, como si de una costra se tratara, que aísla el elemento estructural de la transmisión térmica y de la acción destructiva del fuego. Así, evita la formación de humos tóxicos y nocivos.

Prolonga el tiempo disponible para que los equipos de emergencia actúen.

Pueden ser transparentes para mantener el aspecto natural de la madera o pueden ser pinturas. Se aplican mediante pincelado, pulverizado o rodillos.

Tabla 6. *Espesores para la resistencia al fuego.*

Tipo de producto	Resistencia/espesor (mm)			
	30 minutos	60 minutos	90 minutos	120 minutos
Capas finas de disolventes	0,25 - 1,00	0,75 - 2,50	1,50 - 2,50	-
Capas gruesas resinas-epoxi	4,00 - 5,00	4,00 - 11,00	6,00 - 16,50	6,00 - 16,50

Nota. Recuperado de: Basterra. L.A. *Construcción de estructuras de madera.* Universidad de Valladolid.

Tratamientos protectores

Forman una barrera que oculta y protege la madera aislándola temporalmente de la temperatura del incendio y de su contacto directo con la llama.

- Morteros proyectados: A base de fibras minerales, derivados de la vermiculita o compuestos químicos que absorben el calor. Se aplica por vía húmeda mediante una máquina de proyección tipo mezcladora y compresor, la mezcla y el agua se unen en la boquilla. Para fijarse en la madera se coloca una malla metálica sobre la que se proyecta la mezcla.

Son baratos y de rápida aplicación pero pueden causar daños como agrietamientos o exceso de pulverización. Su aspecto no es atractivo. Requieren una inspección cuidadosa y control de calidad.

- Albañilería y revestimientos secos:
  - o Las fábricas de ladrillo o bloques cerámicos. Son baratos y eficaces como protección frente al fuego, pero su espesor dificulta su colocación en geometrías irregulares. Funcionan mejor como elementos de compartimentación que como revestimiento.

## Métodos de intervención

- Paneles rígidos incombustibles. Se colocan recubriendo y protegiendo toda la estructura de madera. Están basados en placas de yeso laminado, fibra mineral o vermiculita y láminas de fibras cerámicas. Se fijan mediante pastas adhesivas o mediante tornillos, grapas y clavos. Son limpios, no generan muchos daños y el acabado es bueno. Se emplean en interiores por su fragilidad y facilidad de sufrir daños mecánicos.

## **4 TRATAMIENTOS CURATIVOS**

Los tratamientos curativos se aplican sobre madera en servicio o lo que es lo mismo sobre la madera que forma el entramado que sostiene el edificio. A diferencia de los tratamientos preventivos, se utilizan en caso de que la madera ya haya sido atacada y presente daños. Su función es mejorar el estado de la madera y detener la acción de los agentes de deterioro. Se intenta devolver el aspecto y las características resistentes a la pieza.

Las características principales son:

- Son precisas dos intervenciones, una sobre la madera afectada y otra, preventiva, sobre las proximidades.
- Son técnicas más complejas de ejecutar y llevarlas a cabo requiere mayor presupuesto que los preventivos.
- En la mayor parte de los casos, el tratamiento se realiza in situ.
- Hay que limpiar la madera para que los tratamientos se adhieran correctamente en su superficie.
- Los tratamientos químicos suelen tener una concentración más alta que en los tratamientos preventivos.

Cuando la madera ha sido dañada por cualquiera de los agentes patógenos ya nombrados, se puede actuar de diversas formas.

### **4.1 Medidas constructivas**

Consiste en la modificación o sustitución de los elementos constructivos que permiten el ataque de los agentes que deterioran la madera. Se utilizan para reducir el riesgo de deterioro de la madera reduciendo la aparición de humedades que facilitan el ataque de los organismos xilófagos. Estas medidas se ejecutan en caso de cubiertas y aleros en mal estado, sistemas de saneamiento defectuosos, humedades, condensaciones, etc.

Para evitar este tipo de lesiones hay que:

- Evitar o reducir las humedades mediante sistemas de drenaje, barreras impermeables tanto físicas como químicas, etc.
- Aislar la estructura del terreno.
- Ventilar las zonas críticas como los apoyos de las vigas en los muros.
- Diseñar y ejecutar de forma adecuada los encuentros entre la fachada y la cubierta.
- Realizar un correcto mantenimiento de las instalaciones.
- Evitar la aparición de condensaciones.

### **4.2 Medidas estructurales**

Son aquellas que permiten resolver los daños que se han efectuado sobre la madera, que afectan a la seguridad del edificio, a su estabilidad y a la vida media. Podemos distinguir tres clases.

- De sustitución: Es una técnica que se emplea sobre la madera que se encuentra muy dañada y no es adecuado reforzar. Consiste en sustituir la pieza afectada por otra igual con las protecciones adecuadas o por otra de un material distinto.
- De refuerzo: Consiste en aumentar la capacidad resistente del elemento estructural sin ejercer ninguna acción directa sobre la madera.
- De consolidación: Se realiza cuando el daño está localizado en una zona del elemento y no implica la sustitución total de la pieza. Su objetivo es recuperar la capacidad resistente inicial.

Se puede ejecutar de diferentes formas:

- Con madera.
- Con hormigón.
- Mixto, hormigón y madera.
- Con perfiles metálicos.
- Con productos epoxi.
- Con elementos tixotrópicos.

#### **4.3 Medidas de protección químicas**

Se emplean, especialmente, para combatir a los agentes bióticos aunque también como protección para los elementos de refuerzo y consolidación.

Las técnicas principales se realizan mediante:

- Pulverización superficial con protectores en disolvente orgánico.
- Inyección de protectores en la madera y en sus proximidades.

## 5 INTERVENCIÓN

Cuando se realiza una inspección de una estructura de madera, hay que conocer todo lo que se puede de ella, por eso hay que recabar toda la información posible del edificio, de los inquilinos, el momento en que se comenzó a apreciar la lesión o lesiones, los planos del edificio, etc.

En primer lugar, se realiza un reconocimiento visual y general del edificio, anotando las zonas donde se realizarán las catas para comprobar el estado de la madera. La inspección se realizará tanto por el exterior como por el interior.

Los daños que podamos localizar en el exterior pueden ser consecuencia de un daño mayor en la estructura interior, por tanto, es necesario observar cuidadosamente la fachada, los patios, la cubierta, los aleros y las bajantes del edificio utilizando los instrumentos necesarios para un correcto control. El objetivo de esta exploración es descubrir zonas que permitan el acceso de agua desde el exterior, zonas donde puedan aparecer humedades y problemas de estabilidad que se reflejan en forma de grietas.

Posteriormente analizaremos el interior, la estructura. Se realiza un reconocimiento del maderamen prestando especial atención a los puntos críticos y a las zonas de riesgo especial.

### Puntos críticos

- Zonas con madera de albura: Es la zona exterior y la primera en ser atacada.
- Cabezas de vigas en apoyo dentro de muros: El muro puede retener humedad y la falta de ventilación agrava el riesgo.
- Testas de las vigas en apoyos a la intemperie: Están expuestas a la intemperie pero la ventilación reduce el riesgo.
- Ensamblajes de piezas en cerchas o uniones de pares a carreras: Se crean rincones donde puede acumularse agua procedente de goteras
- Extremo inferior de soportes: El pilar puede estar expuesto a la lluvia o en interiores a humedades por capilaridad que favorecen la pudrición.

### Zonas de riesgo especial

- Piezas en contacto con el suelo o cercanas a él: Este tipo de elementos son más susceptibles de ataques de todo tipo de xilófagos por estar expuestas a mayor grado de humedad y constituyen puntos de acceso a las termitas. Pueden ser soportes que arranquen del suelo, forjados sobre muros de sótano, los marcos de las puertas de la planta inferior, etc.
- Sótanos, forjados de galerías y locales húmedos: Elevado grado de humedad y escasa ventilación.
- Apoyos de vigas y viguetas en muros
- Paso de conducciones de agua y desagüe: Pequeñas fugas. Pueden generar estados de humedad permanente que favorezca el ataque de las termitas.
- Cubierta: Falta de mantenimiento, rotura o desplazamiento de tejas, fallos en la impermeabilización por el paso de chimeneas, atascos de canalones, encuentro de faldones en las limahoyas, etc.

- Carpintería exterior: Problemas de estanqueidad, alfeizares y vierteaguas que favorecen a la humectación del muro, y por tanto, la entrada del agua al interior y el daño a las viguetas.

A medida que avanzamos en la inspección iremos anotando las zonas donde se realizaran las catas para comprobar el estado de la madera.

La segunda fase consiste en la inspección de las catas abiertas anotando las lesiones que se encuentren y sus características.

Para realizar un análisis adecuado del estado de la estructura de madera la inspección visual debe estar acompañada de un equipo complementario. Se pueden utilizar equipos tradicionales de exploración entre los que encontramos, cuaderno y lápiz, linterna, medidores de humedad, lupa, espejos, martillo, punzón, destornillador y formón, taladro, etc.

También se pueden emplear técnicas especiales como los ultrasonidos, métodos de vibraciones inducidas para detectar oquedades o pudriciones, el resistógrafo, la detección acústica de insectos xilófagos, el fractómetro, etc.

Si localizamos algún tipo de lesión lo siguiente que hay que hacer es enfrentarse a ella. Dependiendo del tipo de daño actuaremos con un tratamiento curativo determinado.

A continuación, se expondrá la forma de intervenir mediante tratamientos curativos a diferentes lesiones de la madera.

### **5.1 Intervención frente a hongos xilófagos.**

La aparición de hongos xilófagos va unida al contenido de humedad, cuando supera el 20% los hongos pueden aparecer. Por esto, la eliminación de las humedades es lo necesario para frenar el ataque. Es una medida de carácter constructivo en la que con solucionar la lesión que genera las humedades permite acabar con el problema. Para favorecer el secado se pueden crear corrientes de ventilación, añadir calefacción y deshumidificadores.

Suelen realizarse unas actuaciones a mayores:

- Preparación de las superficies.  
Una vez que se han eliminado las humedades, se limpia la superficie afectada para favorecer la adherencia de los productos protectores.
- Tratamiento del suelo, muros y tabiques.  
Se realiza en casos en los que se hayan producido desarrollos miceliares en la superficie de estos elementos aunque no existan pudriciones en la madera. Se realiza un tratamiento en profundidad mediante la inyección o pulverización de productos químicos de tipo orgánico. Para el tratamiento de los muros se utilizan productos hidrodispersables.
- Tratamiento de la madera.
  - o Eliminación de la zona dañada.
  - o Tratamiento en profundidad:



Mediante implantes o inyección de un producto funguicida mediante taladros.

Se realiza en todos los elementos de madera en contacto con muros o donde pueda aparecer humedad.

Para complementar, se puede aplicar una pulverización superficial para eliminar las esporas de los hongos que hayan podido quedar en las inmediaciones.

## **5.2 Intervención frente a insectos de ciclo larvario**

Podemos encontrar una amplia variedad de tratamientos frente a los insectos de ciclo larvario, el uso de cada una de ellas dependerá del tamaño de la pieza, del desarrollo del insecto, etc.

### **5.2.1 Tratamientos con productos líquidos**

Antes de aplicar el tratamiento hay que localizar las zonas afectadas diferenciando entre ataque activo y no activo, porque en las zonas no activas se puede aplicar un tratamiento preventivo.

Los productos químicos de tipo orgánico se aplican mediante pulverización e inyección.

La secuencia de operaciones se realiza de la siguiente manera:

- Acceso y limpieza de la zona
- Eliminación de la madera degradada. Esto nos va a permitir conocer la pérdida de sección que han sufrido los elementos para poder determinar si se puede reforzar la pieza o hay que sustituirla. Además, facilita la penetración del producto protector. En caso de que no se pueda realizar el desbastado el producto puede aplicarse mediante inyección.
- Tratamiento curativo en profundidad. Se realiza mediante la inyección del producto a través de huecos realizados en la cara de la pieza con un taladro. Se aplicará tanto en las piezas afectadas como en las de sus proximidades.
- Tratamiento curativo superficial. Se aplica mediante pincelado o pulverización sobre todos los elementos atacados tras haberles realizado el tratamiento en profundidad. Es un proceso obligatorio.
- Tratamiento preventivo. Se aplica sobre las piezas nuevas que se incorporen o sobre las piezas que ya formaban parte del entramado pero que no han sido afectadas.

Previo a la aplicación del producto se limpiará la superficie de los elementos para una buena adherencia.

### **5.2.2 Tratamiento con productos gaseosos**

Es un tratamiento de carácter curativo pero no preventivo ya que elimina los insectos cuando entran en contacto con el gas que penetra en la madera pero no evita que vuelvan a aparecer.

Este sistema se utiliza cuando el elemento de madera se puede aislar fácilmente en la atmósfera del gas, como esculturas, muebles o piezas pequeñas. La aplicación en edificios completos es compleja ya que implica un alto grado de seguridad para evitar fugas y un meticuloso control de la salida de los gases tras el tratamiento.

### 5.2.3 Tratamiento con productos en forma de humos

Esta técnica se utiliza cuando el acceso a la zona afectada es muy complicado debido a que son huecos demasiado reducidos para que acceda una persona. Se aplica mediante micopulverización, utilizando botes pirotécnicos que forman nubes de humo del producto insecticida. Este humo se deposita en las superficies de la madera y elimina los insectos que entren en contacto con ella. El inconveniente se encuentra en que no elimina las larvas que hay en el interior de la madera, por eso se debe realizar el tratamiento anualmente hasta que se acabe el ciclo de vida los insectos. Las superficies que no son de madera deben limpiarse tras la aplicación del producto para evitar problemas de toxicidad.

Encontramos también, otros tratamientos similares como son los de nebulización y termonebulización que se utilizan contra las plagas domésticas (ácaros, pulgas, cucarachas, etc.).

### 5.2.4 Tratamiento por esterilización con calor

Consiste en calentar el aire mediante calefactores y mantener la temperatura interior de la madera superior a 60 grados, debido a que las larvas de los insectos se mueren con temperaturas superiores a 55 o 60 grados mantenidas durante un periodo de 30 a 60 minutos.

Se está comenzando a utilizar un sistema de calentamiento mediante radio frecuencia. El calentamiento destruye a los insectos.

Suele utilizarse para pieza de escaso tamaño.

### 5.2.5 Tratamiento por esterilización con frío o de choque térmico

Consiste en introducir las piezas en una cámara donde se disminuye la temperatura gradualmente hasta que se alcanza la adecuada para la eliminación de los parásitos. Este proceso puede durar varios días. Cuando se alcanza la temperatura conveniente, se mantiene la madera durante doce días en ese estado y finalmente se vuelve a aumentar la temperatura de forma gradual hasta alcanzar la temperatura ambiente y se aplica un tratamiento preventivo por impregnación. Este tratamiento se aplica en elementos de tamaño reducido sin dañar la pieza, ni barnices, ni pinturas que pueda tener aplicada.

## **5.3 Intervención frente a insectos xilófagos sociales**

La humedad facilita su acceso por lo que es importante mantener la madera y el entorno seco, por eso las medidas constructivas adquieren gran importancia para evitar estos ataques. Sin embargo, una vez que se ha producido el ataque las propias termitas transportan pequeñas gotas de agua humedeciendo la madera que pretenden fagocitar.

### 5.3.1 Tratamiento químico tradicional

La eliminación de las termitas es extremadamente dificultosa, este tratamiento consiste en aislar el edificio de la colonia agresora, protegiendo, si es posible, los edificios colindantes ya que los termiteros pueden encontrarse a gran distancia.

Para ello se efectúan barreras en el suelo y en los muros para dificultar su acceso y se trata la madera mediante inyección a través de boquillas introducidas en la madera

de productos de tipo orgánico, complementándose con una aplicación superficial ante la posibilidad de que encuentren un camino libre.

No eliminan la colonia de termitas, solo se aísla el elemento o el edificio protegido.

### 5.3.2 Tratamiento químico no repelente

El tratamiento es similar al anterior, colocando barreras en el suelo y en los muros y aplicando productos con una formulación especial mediante inyección. El veneno actúa por ingestión o por contacto afectando al sistema nervioso del insecto y causándole la muerte.

Las medidas de carácter constructivo no deben ser olvidadas.

### 5.3.3 Sistema de cebos

Es un método menos contaminante que ataca directamente a la colonia. El 95% de la población de un termitero la forman las obreras que se encargan de alimentar al resto y son las que destruyen la madera, por tanto, si las eliminas se acaba el problema.

El sistema se desarrolla en tres fases:

- Inspección: Hay que examinar el interior y el exterior del edificio y comprobar la existencia de termitas.
- Eliminación de la colonia: Consiste en la utilización de cebos que incorporan un producto químico con efecto retardado que inhibe su crecimiento. Las obreras se alimentan de estos cebos y al cabo de un tiempo el producto evita su desarrollo normal. La desaparición de las obreras conlleva la desaparición de la colonia.
- Mantenimiento: Una vez eliminada la colonia, hay que realizar una vigilancia de los cebos durante cinco años para cerciorarse de que ha sido eliminada correctamente.

Los cebos pueden ser de superficie en forma de cajas rectangulares en los que se colocan tiras de celulosa impregnadas del producto. También podemos encontrar cebos que se entierran en el suelo con forma de cilindros abiertos por la parte superior en los que se introducen las tiras de celulosa impregnadas con el insecticida. Los cebos poseen cierres de seguridad para evitar que puedan ser manipulados por gente externa al tratamiento y dejen olores que puedan detectar las termitas.

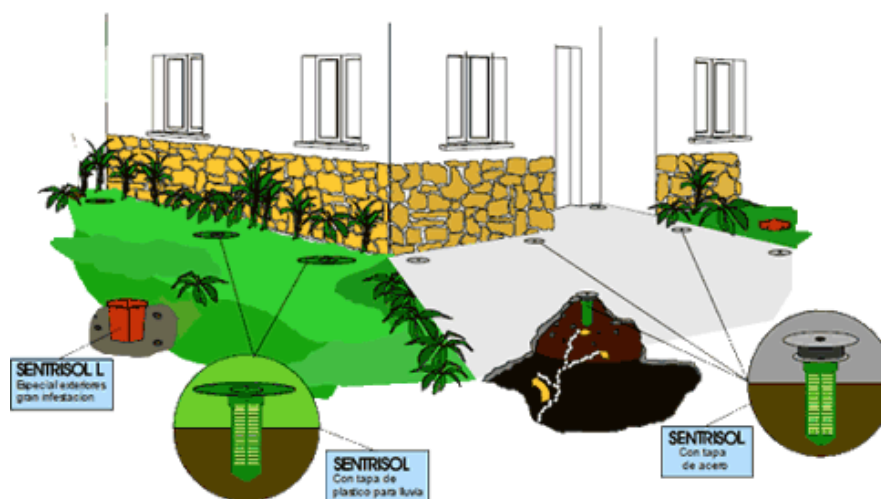


Figura 36. Sistema de cebos para termitas. <https://www.eliminar-termitas.es/tratamientos/eligir-cebos-antitermitas/>.

#### 5.4 Intervención frente a lesiones estructurales

La mentalidad que tiene la sociedad frente a las estructuras de madera es que no son adecuadas porque se puede producir un incendio y destruirlas. Sin embargo, el mayor porcentaje de siniestros de las estructuras de madera son debidos a problemas estructurales.

Tabla 7. Porcentajes de las causas de siniestros en las estructuras de madera

Porcentaje de siniestros	
Sección insuficiente	20%
Variaciones dimensionales	19%
Viento	18%
Uniones	12%
Montaje	10%
Hongos	10%
Insectos	9%
Defectos de la madera	1%
Fuego	1%

Nota. Recuperado de: Apuntes evaluación y actuación en edificios ETSAVA.

En este apartado se expondrán distintas soluciones que se pueden emplear para solventar este tipo de lesiones.

##### 5.4.1 Intervención mediante apeos

Consiste en una intervención mínima cuya misión es mantener la estabilidad del elemento constructivo sin modificar su estado. En ocasiones puede ser una solución temporal, en otras, puede ser permanente. Se trata de actuaciones económicas y en general su aspecto estético no es bueno. Pueden ser tanto de madera como metálicos. Este sistema requiere la actuación desde la planta inferior y exige la pérdida de altura libre en los locales.

- Apeos preventivos

Cuando hay que intervenir para detener, limitar o reducir el incremento de las deformaciones ya sea de vigas, viguetas, forjados o fachadas la colocación de un sistema de apeos temporales ayuda a resistir los esfuerzos.



Figura 37. Apeo temporal.

<http://www.ite-arquitectos.com/blog/index.php/2017/08/03/apeos-apuntalamientos/>



Figura 38. Apeo temporal.

<http://www.ite-arquitectos.com/blog/index.php/2017/08/03/apeos-apuntalamientos/>

- Apeos permanentes

Los apeos permanentes suelen realizarse para ayudar a sustentar las acciones que transmite el forjado, formando bajo este un refuerzo permanente, generalmente con perfiles de acero aunque también pueden utilizarse otros materiales.

El refuerzo de los forjados puede ser:

- Homodireccional: El refuerzo se coloca en el mismo sentido que el forjado. No altera el estado de tensiones del conjunto. Se puede apoyar tanto en las vigas como en el muro de forma directa o mediante perfiles metálicos.



Figura 39. Apeo permanente homodireccional. <https://e-struc.com/2014/11/05/refuerzo-de-forjados-de-madera-iii-sustitucion-vs-refuerzo/>

## Intervención

- Cruzado: El refuerzo se apoya en vigas o muros transversales a la dirección del forjado. En este caso hay que prestar atención al desvío de cargas y nuevas deformaciones.



Figura 40. Apeo permanente transversal. <https://enriquealario.com/refuerzo-de-forjados-de-madera-por-la-cara-superior/#lightbox/3/>

- Diagonal: Se suele realizar en actuaciones de poca entidad, en rincones entre muros de fachadas y medianería.



Figura 41. Apeo diagonal. <https://serviref.es/refuerzos-en-estructura-de-madera-con-hierro-y-sistema-beta/>

- Mixto: En caso de crujiás muy largas. Consiste en cortaluces trasversales apoyados en vigas paralelas a viguetas



Figura 42. Apeo mixto. <http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf>

- Jabalcones: Otra forma de cortar luces muy grandes se basa en el uso de jabalcones que permiten alcanzar una zona más interior del vano.



Figura 43. Jabalcones. <http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf>

#### 5.4.2 Intervención para aumentar la rigidez y capacidad resistente de las piezas.

En este grupo podemos distinguir varios tipos de intervención dependiendo de las necesidades de la estructura.

##### 5.4.2.1 *Apoyos de vigas y viguetas*

Una de las actuaciones más frecuentes en edificios antiguos con estructura de madera es la intervención en las cabezas de las vigas y viguetas que están empotradas en los muros de fachada, ya que suelen estar podridas por los problemas de humedad.

Frente a este problema encontramos diversas soluciones.

- Con elementos metálicos:
  - En el caso de vigas, suele colocarse una ménsula empotrada en el muro justo debajo del apoyo de la viga.



Figura 44. Refuerzo con perfil metálico. <https://itearquitectes.com/2018/09/24/estructuras-de-madera-iii-iii-las-deficiencias-y-su-reparacion/refuerzo-viga-madera-2/>

- En el caso de viguetas, la reparación suele afectar a varias por lo que en vez de actuar de forma individual en cada una de ellas, la solución consiste en colocar un apoyo lineal y continuo debajo de ellas al que se unen perfiles metálicos transversales sobre los que apoyan las viguetas.

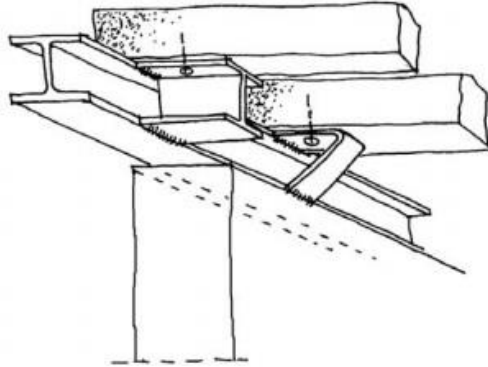


Figura 45. Refuerzo de viguetas. <http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf>

- Es frecuente reforzar las viguetas afectadas adosando perfiles metálicos a sus costados y uniéndolas mediante pernos.

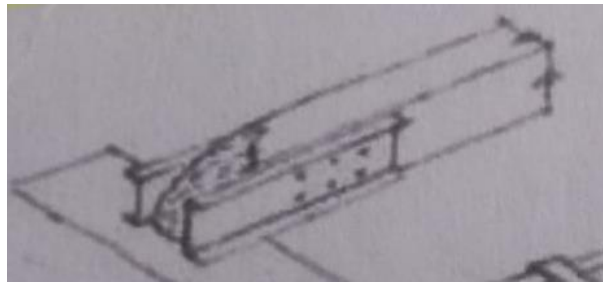


Figura 46. Refuerzo mediante perfiles y pernos. Apuntes evaluación y actuación en edificios ETSAVA.

- Con piezas de madera
  - Se pueden reforzar viguetas adosándolas piezas de madera en sus costados y unidas mediante pernos.

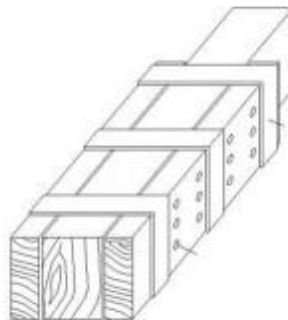


Figura 47. Refuerzo con piezas de madera. <https://jaltimira.files.wordpress.com/2012/01/degradaciocc81n-de-la-madera-patologias.pdf>



- Se pueden realizar uniones por empalme de caja y espiga mediante pasadores o encoladas por empalme oblicuo en el plano vertical o inclinado.

La solución encolada es la más eficaz cuando se utilizan resinas epoxi pero la pérdida de adherencia de las resinas con la temperatura, puede hacer aconsejable, por razones de seguridad, una solución mixta de encolado y pasadores.

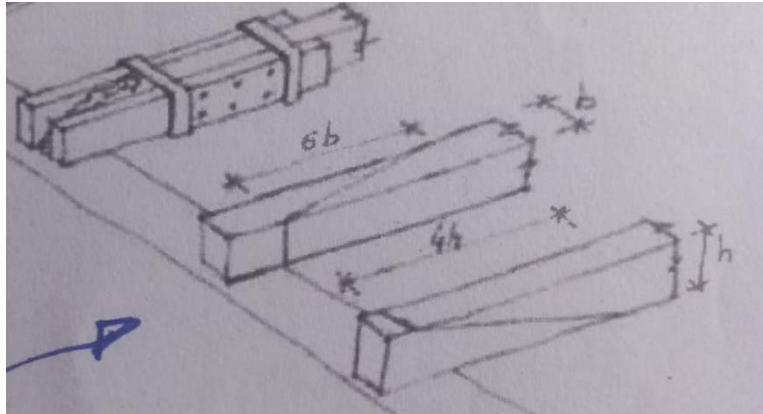


Figura 48. Refuerzos con madera. Apuntes evaluación y actuación en edificios ETSAVA.

- Con resinas epoxi:
  - Sistema Beta: Una de las técnicas más comunes basada en resinas epoxi es el sistema Beta. Consiste en sustituir la parte dañada por un mortero de formulación epoxi conectado a la madera sana mediante barras de materiales compuestos.

El procedimiento es el siguiente:

- Eliminación del trozo dañado. Saneamiento.
- Realización de orificios para la colocación de rigidizadores.
- Colocación de varillas rigidizadoras de fibra de vidrio.
- Encofrado de la zona para el vertido de la resina epoxi.
- Vertido de la resina epoxi.
- Rellenado final de orificios



Figura 49. Intervención en viga de madera con sistema Beta.  
<http://sofcar.es/portfolio/repuracion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/>



Figura 50. Intervención en viga de madera con sistema Beta.  
<http://sofcar.es/portfolio/repuracion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/>



Figura 52. Intervención en viga de madera con sistema Beta.  
<http://sofcar.es/portfolio/repuracion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/>



. Figura 51. Intervención en viga de madera con sistema Beta.  
<http://sofcar.es/portfolio/repuracion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/>

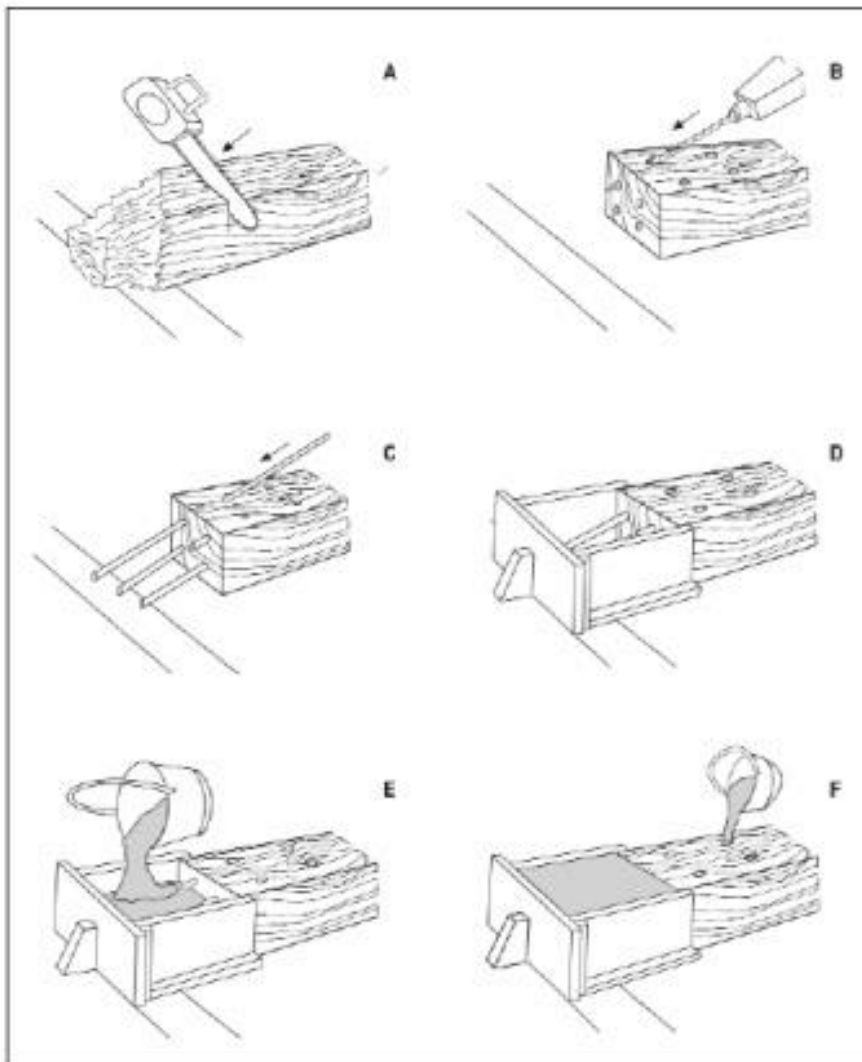


Figura 53. Reparación de la cabeza de la viga. <https://jaltimira.files.wordpress.com/2012/01/degradaciocc81n-de-la-madera-patologias.pdf>

#### 5.4.2.2 Falta de resistencia a flexión

Para aumentar la resistencia a flexión, la solución más sencilla y eficaz es la adición de piezas adosadas a la estructura. Con este aumento de sección se aumenta la inercia de la pieza.

Podemos encontrar diferentes soluciones.

- Con madera:
  - Cuando la capacidad resistente de un forjado no es suficiente, la solución más sencilla y eficaz es la adición de piezas adosadas a la estructura o intercaladas a las originales. La mayor inercia se consigue encolando la pieza en la cara inferior, aunque también es habitual optar por el refuerzo lateral cuando interesa no incrementar el canto.

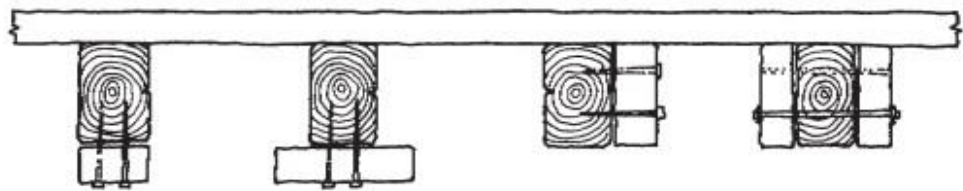


Figura 54. Refuerzo de las viguetas de un forjado. Arriaga Martitegui, Francisco. *Intervención en estructuras de madera*.

- La segunda opción, consiste en colocar vigas que dividan la luz original en dos o más vanos. Esto genera que el canto del forjado crezca allí donde colocamos las vigas auxiliares. El apoyo de las viguetas sobre la viga parteluz puede necesitar de la ayuda de cuñas ya que las viguetas tendrán una deformación remanente. Por último, hay que tener en cuenta las cargas de las vigas auxiliares sobre el muro.

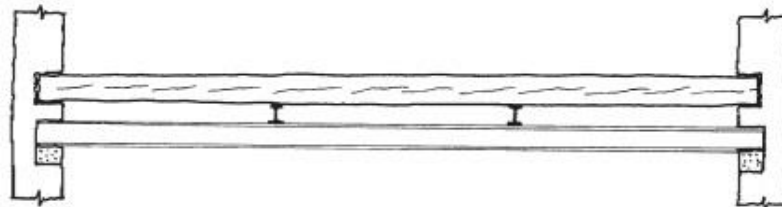


Figura 55. Viga parteluz de refuerzo. Arriaga Martitegui, Francisco. *Intervención en estructuras de madera*.

- Con resinas epoxi:
  - Consolidación con placas de refuerzo internas: Es una de las técnicas más cómodas de ejecutar y le confiere una gran resistencia a la pieza. En primer lugar hay que colocar la viga en su posición original y appearla correctamente. En la cara superior se realizan cajeados para introducir al menos dos placas de refuerzo con la suficiente longitud para que transmita el momento flector y el cortante. Tras los cajeados se vierte la formulación epoxi de forma que la resina fluya por las holguras. Por último, se enrasa con resina epoxi hasta la cara superior.

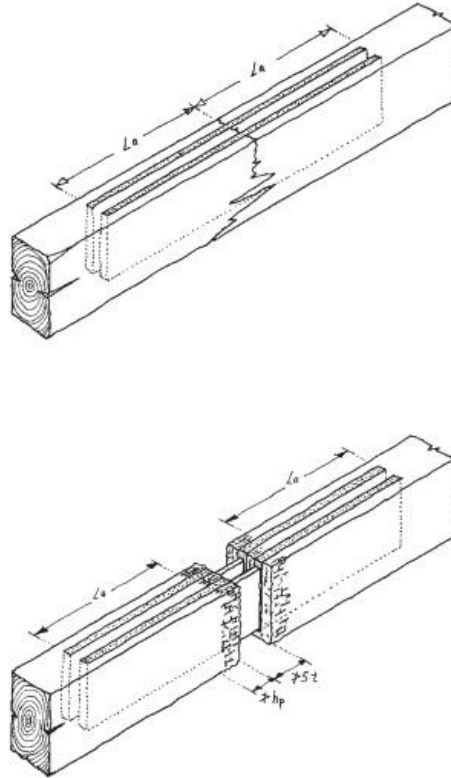


Figura 56. Consolidación con placas internas. Arriaga Martitegui, Francisco. *Intervención en estructuras de madera.*

- Consolidación con barras de refuerzo: Este sistema consiste en instalar barras de refuerzo, como si fueran armaduras, en ranuras realizadas en la superficie de las caras laterales o en la superior e inferior.

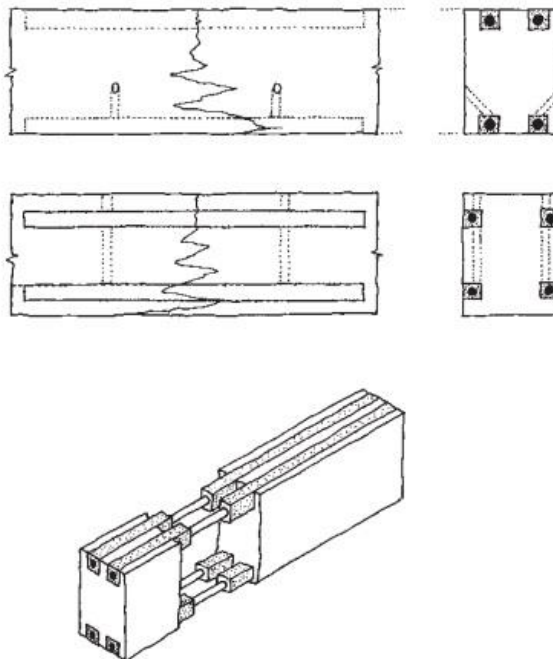


Figura 57. Consolidación mediante barras de refuerzo. Arriaga Martitegui, Francisco. *Intervención en estructuras de madera.*

- Refuerzo con barras inclinadas: Como consecuencia del secado aparecen se producen contracciones que terminan generando fendas en las piezas. El sistema Beta se aplica para reforzar estas piezas mediante un cosido de las fendas con barras inclinadas. Para colocar estas, se realizan taladros desde la cara superior, posteriormente se sellan las fendas en las caras de la viga y se vierte o inyecta la resina epoxi tras haber colocado las barras de refuerzo.

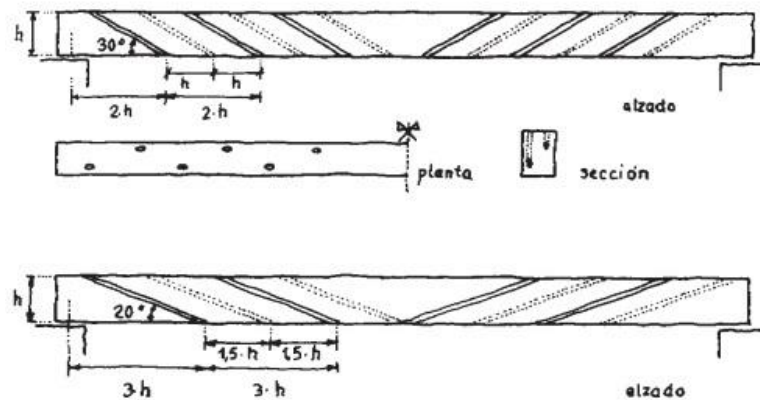


Figura 58. Refuerzo frente a una viga llena de fendas. Arriaga Martitegui, Francisco. *Intervención en estructuras de madera*.

- Reconstrucción de la parte superior de la sección de la viga: Es similar a la reconstrucción de la cabeza de las vigas y viguetas. Para recuperar la sección original en primer lugar hay que eliminar la zona afectada hasta llegar a la madera sana. Posteriormente se insertan unos conectores de fibra de vidrio en los taladros realizados desde la cara superior y con ayuda de un encofrado en los laterales se rellena el volumen con mortero epoxi.



Figura 59. Reconstrucción de la parte superior de una viga con mortero epoxi.

[http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet\\_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/\\$file/ATT1G DXT.PDF](http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/$file/ATT1G DXT.PDF)

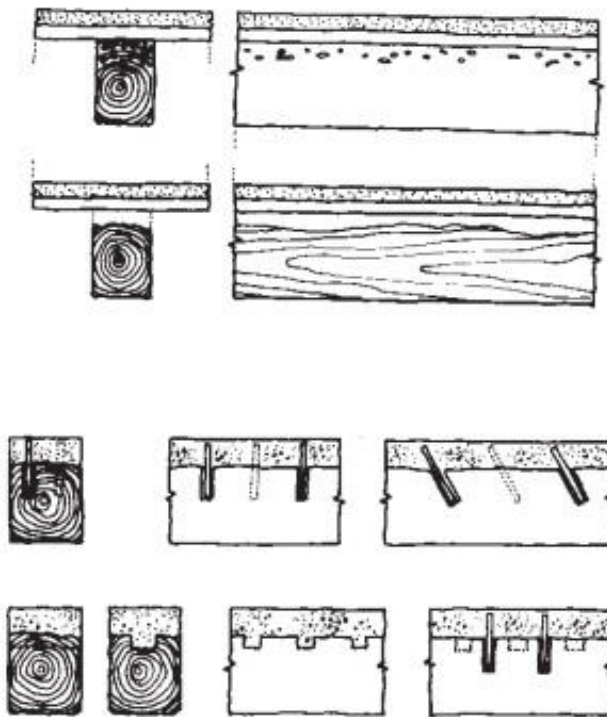


Figura 60. Reconstrucción de la parte superior degradada de una viga con mortero epoxi. Arriaga Martitegui, Francisco. *Intervención en estructuras de madera*.

- Refuerzo de vigas mediante perfiles metálicos. Se puede realizar de muchas formas, en la figura a vemos como se adosan dos perfiles en los laterales de la viga. Estos perfiles apoyaran sobre el muro de carga. En la situación b el perfil no se coloca en los laterales de la viga sino que se coloca debajo para sostenerla. Por último, en la figura c podemos observar un refuerzo por suspensión, se apoya la viga metálica sobre los muros y mediante placas y pernos se sujeta la viga de madera.

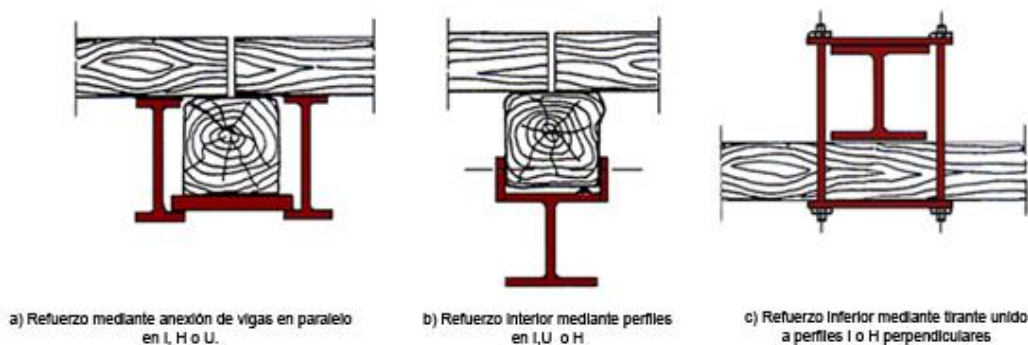


Figura 61. Refuerzo mediante perfiles metálicos. <http://www.gesapsl.es/blog/tecnicas-de-refuerzo-de-vigas-iii/>

## Refuerzo del forjado de madera

- Forjado autoportante: Consiste en añadir una losa de madera capaz de concentrar todas las cargas de servicio y apoyada sobre las vigas existentes para no modificar la bajante de las cargas.

En este caso, se refuerzan las vigas de madera por la parte superior y sobre ellas se coloca la losa de madera junto con una capa de aislante.



Figura 62. Refuerzo de forjado autoportante.

[http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet\\_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/\\$file/ATT1G DXT.PDF](http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/$file/ATT1G DXT.PDF)

- Forjado mixto de madera y hormigón: Consiste en incorporar en la parte superior del forjado una capa de hormigón de poco espesor quedando conectado a la madera (la unión se puede realizar mediante clavijas metálicas, conectores de superficie, cajeados, etc.) aumentando así la rigidez del forjado y la resistencia. Se ejecuta por la parte superior y en la parte inferior conviene colocar un apeo. Se ejecuta de la siguiente manera:
  - o Comprobar el estado en el que se encuentra el forjado.  
Hay que conocer la situación en la que se encuentra, puede que esté en perfecto estado y no se necesite realizar ninguna acción pero también puede presentar podredumbre o excesos de flecha.  
Las zonas en las que hay que prestar especial atención son las que se encuentren en las partes húmedas de la casa como cocinas o baños.
  - o Descargar el forjado.  
La madera es tiene una gran capacidad de deformarse sin romperse y si se elimina el peso que la ha deformado puede llegar a recuperar parte de esa deformación. Por eso es importante que eliminemos todas las cargas innecesarias para propiciar que recupere su estado original.
  - o Proteger contra la humedad.  
Para evitar que entre en contacto con la humedad se coloca una capa de plástico sobre la superficie del forjado de manera que la humedad del hormigón que vamos a verter no afecte a la madera.
  - o Colocación de conectores.  
Para que se produzca una transmisión de esfuerzos del hormigón a la madera se van a colocar conectores que se clavan en la madera dejando la parte superior en contacto con el hormigón.
  - o Vertido del hormigón.

Por ultimo, se coloca un mallazo para evitar la fisuración del hormigón por retracción y tras ello se vierte el hormigón.



Figura 63. Refuerzo de un forjado de madera.

<https://enriquealario.com/refuerzo-de-forjados-de-madera-por-la-cara-superior/#lightbox/6/>



Figura 64. Refuerzo de un forjado de madera.

<https://enriquealario.com/refuerzo-de-forjados-de-madera-por-la-cara-superior/#lightbox/6/>



Figura 65. Refuerzo de un forjado de madera.

[http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet\\_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/\\$file/ATT1GDXT.PDF](http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/$file/ATT1GDXT.PDF)

#### 5.4.2.3 Pies derechos

El principal problema que se presenta es la pudrición de la base por hongos xilófagos, siendo lo más habitual la sustitución de la parte afectada por otros materiales resistentes.

En pies derechos aislados, si la pudrición es superficial y solo afecta a la albura, se limpiará toda la zona deteriorada, tras esto se introducirán barras de conexión y por ultimo con ayuda de un encofrado se verterá un mortero epoxi.





Figura 66. Calzado de un pie derecho con resina epoxi. <http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf>

Si la pudrición afecta a toda la base, será necesaria una sustitución. Se cortará la pieza a la altura donde la madera este sana, se introducirán barras de conexión y se verterá el mortero epoxi. En caso de que no haya espacio para colocar las barras en el interior de la pieza, se colocaran perimetralmente.

En muros entramados se puede sustituir la zona deteriorada por perfiles metálicos acañados con mortero, hormigón o fábrica de ladrillo hay que tener en cuenta los problemas por retracción y asiento de los materiales.



Figura 67. Apoyo de un pie derecho sobre fábrica de ladrillo. <https://e-struc.com/2015/07/22/deterioro-de-pies-derechos-de-madera-en-entramados-sustituciones-correctas/>

Si es necesario incrementar su capacidad resistente, se puede reforzar mediante el sistema Kerto, que consiste en adosar tablores de madera en sus laterales mediante pasadores atornillados.

## 6 CONCLUSIONES

En la actualidad la madera presenta una amplia gama de productos que junto con los diferentes tipos de uniones, permiten a los arquitectos y diseñadores contemporáneos dejar de soñar con diseñar y construir estructuras imposibles de madera para, de hecho, hacerlo.

Sin embargo, la madera no es un material invulnerable, al igual que el resto de materiales utilizados para la construcción es sensible a ataques externos que pondrán a prueba su durabilidad natural y sus características mecánicas.

Las lesiones de la madera no suelen venir solas. Generalmente, la aparición de un daño en algún punto es consecuencia de otra lesión que se encuentra oculta y que no se había percibido todavía. La humedad favorece el ataque de organismos de origen biótico, los cuales a su vez ocasionan lesiones estructurales que pueden provocar el colapso de la estructura. La especie de madera, el tipo de madera, la localización donde vaya a colocarse la estructura y la clase de uso son factores importantes que evitarán el ataque de uno u otro agente agresor.

Por eso mismo, la madera debe protegerse previamente a su colocación en la obra. Hoy en día, existen una gran cantidad de productos y tratamientos preventivos que se aplican a la madera antes de su puesta en servicio para aumentar su durabilidad natural y evitar, en la medida de lo posible, que la estructura sea dañada. También son productos que se pueden aplicar en rehabilitaciones y restauraciones de edificios.

En edificios antiguos, donde se realizan trabajos de rehabilitación y restauración, nos encontramos con estructuras de madera en muy malas condiciones debido a que en el momento de la construcción no se aplicaban los tratamientos preventivos que se aplican a día de hoy. La falta de productos protectores, el paso del tiempo, la humedad y un escaso o nulo mantenimiento, llevan a estructuras a punto de derrumbarse. Aun así, existen tratamientos curativos para devolver a la estructura a un estado adecuado y prolongar la vida del edificio.

Cuando se realiza una intervención en un edificio con estructura de madera conviene realizar un reconocimiento en profundidad tanto por el interior como por el exterior prestando especial atención en puntos y zonas críticas que permitan mínimamente la aparición de algún tipo de daño. Se debe ser muy meticuloso con el diagnóstico porque una lesión pasada por alto puede ser vital para el estado del edificio, pudiendo afectar a la madera que ya ha sido curada.

La toma de datos y la realización de catas, para su posterior análisis y estudio, son imprescindibles para discernir la clase de ataque a la que está sometida la madera. Lo cual nos llevara a un tipo de intervención u otra.

Existen diferentes técnicas de intervención o tratamientos curativos en función del estado de la pieza. Estos tratamientos recogen un amplio espectro de actuación, desde intervenciones independientes a la estructura de madera, refuerzos mecánicos o sustituciones de alguno de los elementos que conforman el entramado. Pueden aplicarse para un único elemento o se puede actuar sobre un conjunto de varias piezas en mal estado. La intervención debe ceñirse al problema y no ser excesiva, debe de cumplir con la función para la que es ejecutada.

Durante la actuación hay que evitar transmitir sobre la estructura debilitada vibraciones y deformaciones nuevas que no sea capaz de soportar. Las soluciones realizadas deben garantizar la transmisión de las solicitaciones entre los elementos de madera y los que se añaden nuevos.

Cuando la madera se pone al descubierto para la intervención debe aprovecharse ese momento para realizar una protección preventiva de la zona reparada y las zonas cercanas a ella para evitar futuras lesiones.

La intervención en estructuras de madera permite prolongar la vida de los edificios asegurando la estabilidad y la resistencia del conjunto gracias a la variedad de técnicas y tratamientos curativos que existen en la actualidad.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Basterra Otero, L.A. (2008). *Construcción de estructuras de madera*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Arriaga Martitegui, F. *Intervención en estructuras de madera*. S.I: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho, 2002.
- CONFEMADERA HABITAT. *Guía de la Madera. Capítulo 2: Durabilidad*. Documento de Aplicación del CTE.
- Borrás, X. (2010). *Breve historia de la madera como material de construcción*. Recuperado de: <https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/44265-Breve-historia-de-la-madera-como-material-de-construccion.html>
- Argüelles Alvarez, R. y Arriaga Martitegui, F. (1993). *El uso de la madera en la construcción*. Recuperado de: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/15187-Texto%20del%20art%C3%ADculo-15179-1-10-20140610.pdf>
- Besteiro. (2014). *Evolución de la construcción con madera*. Recuperado de: <https://mbesteiro.com/blog/evolucion-de-la-construccion-con-madera/>
- Asociación de investigación de las industrias de la madera. (2011). *Madera laminada encolada*. Recuperado de: [https://infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_126\\_Madera%20Laminada%20Encolada\\_18.07.2011.pdf](https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_126_Madera%20Laminada%20Encolada_18.07.2011.pdf)
- *¿Qué es la madera laminada encolada? ¿cómo se fabrica?* (s.d.). Recuperado de: <https://www.maderea.es/que-es-la-madera-laminada-encolada-como-se-fabrica/>
- *¿Qué son las vigas de madera dúo y trío?* (s.d.). Recuperado de: <https://www.maderea.es/que-son-las-vigas-de-madera-duo-y-trio/>
- *Madera microlaminada: Definición, características y usos*. Recuperado de: <https://maderame.com/madera-microlamianda/>
- *Tipos de tableros de madera: usos, propiedades y características*. (s.d.). Recuperado de: <https://greemap.es/tableros/tipos-de-tableros-de-madera/>
- Universidad de Navarra. *Madera - uniones mecánicas*. (s.d.). Recuperado de: <https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec01.html>
- *Uniones y ensamblajes con madera*. (s.d.). Recuperado de: <https://www.maderea.es/uniones-y-ensamblajes-con-madera/>
- *Agentes de degradación de la madera* (s.d.). Recuperado de: <https://jaltimira.files.wordpress.com/2012/01/degradaciocc81n-de-la-madera-patologias.pdf>
- *Protección de la madera*. (s.d.). Recuperado de: [https://infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_77\\_proteccion.pdf](https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_77_proteccion.pdf)
- Lasheras, F. *Patología de la construcción con madera*. Madrid. Recuperado de: <http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf>
- Remacha Gete, A. *Degradación de la madera por los organismos xilófagos vegetales*. Madrid. Recuperado de: [https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_1368\\_17243.pdf](https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1368_17243.pdf)
- *Durabilidad natural e impregnabilidad*. (s.d.). Recuperado de: <https://www.maderea.es/durabilidad-natural-e-impregnabilidad-de-la-madera/>

- *Impregnabilidad*. (s.d.). Recuperado de:  
<http://protecciondelamadera.com/impregnabilidad/>
- Lignum facile. *La madera exterior. Tratamientos y conservación*. Santiago de Compostela. Recuperado de: <http://clustermadeira.com/wp-content/uploads/2017/01/C03.TratamientosyConservacion.pdf>
- *Tratamientos superficiales de la madera*. (s.d.). Recuperado de:  
<http://protecciondelamadera.com/tratamientos-superficiales-de-la-madera/>
- *Sistemas de tratamiento de la madera*. (s.d.). Recuperado de:  
[https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_1099\\_16983.pdf](https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1099_16983.pdf)
- Asociación de investigación de las industrias de la madera. (2012). *Protección de la madera contra el fuego – mercado ce*. Recuperado de:  
[https://infomadera.net/uploads/legislacion/pdf\\_35\\_Protecci%C3%B3n%20Fuego\\_Mercado%20CE\\_28.12.2012.pdf](https://infomadera.net/uploads/legislacion/pdf_35_Protecci%C3%B3n%20Fuego_Mercado%20CE_28.12.2012.pdf)
- *Tratamientos curativos de la madera – intervención en edificios con estructura de madera*. (s.d.). Recuperado de:  
[https://infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_322\\_tratamientoCurativo.pdf](https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_322_tratamientoCurativo.pdf)
- Freyssinet. *Refuerzo de estructuras de madera*. Recuperado de:  
[http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet\\_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/\\$file/ATT1GDXT.PDF](http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/$file/ATT1GDXT.PDF)
- Asociación de investigación de las industrias de la madera. (2014). *Tratamientos curativos de la madera – métodos de tratamiento*. Recuperado de:  
[https://www.csaec.com/area\\_tecnica/aitim/enlaces/documentos/AITIM\\_Proteccion\\_curativa\\_madera\\_01.09.14.pdf](https://www.csaec.com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/AITIM_Proteccion_curativa_madera_01.09.14.pdf)
- E- struc. *Deterioro de pies derechos de madera en entramados. Sustituciones correctas*. Recuperado de: <https://e-estruc.com/2015/07/22/deterioro-de-pies-derechos-de-madera-en-entramados-sustituciones-correctas/>
- Alario,E. (2015). Refuerzo de forjados de madera por la cara superior. Recuperado de: <https://enriquealario.com/refuerzo-de-forjados-de-madera-por-la-cara-superior/>
- E-estruc. Refuerzo de forjados de madera (III). Sustitución vs refuerzo. (s.d.). Recuperado de: <https://e-estruc.com/2014/11/05/refuerzo-de-forjados-de-madera-iii-sustitucion-vs-refuerzo/>
- *Técnicas de refuerzo de vigas III*. (s.d.). Recuperado en:  
<http://www.gesapsl.es/blog/tecnicas-de-refuerzo-de-vigas-iii/>
- *Madera modificada: un futuro para la utilización de la madera*. (s.d.). Recuperado de: <http://protecciondelamadera.com/madera-modificada-un-futuro-para-la-utilizacion-de-la-madera/>
- Madera y construcción. *Madera modificada*. (s.d.). Recuperado de:  
<https://maderayconstruccion.com/madera-modificada/>
- Touza Vazquez, M. (2020). *Madera modificada*. Recuperado de:  
<http://teoriadeconstruccion.net/blog/madera/madera-modificada/>
- *Ulloa, R. (2015). Madera modificada*. Recuperado de:  
<https://nuevosmaterialesysistemas.wordpress.com/2015/12/08/madera-modificada/>

## 8 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cabaña de toncos. <a href="https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/44265-Breve-historia-de-la-madera-como-material-de-construccion.html">https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/44265-Breve-historia-de-la-madera-como-material-de-construccion.html</a> .....	6
Figura 2. Estructura madera laminada. Polideportivo Madre Alberta (Mallorca) .....	7
Figura 3. Finger joint. <a href="http://www.maderasmafilo.com/portfolio-item/tableros-finger-joint/">http://www.maderasmafilo.com/portfolio-item/tableros-finger-joint/</a> ...	7
Figura 4. Vigas dúo y trío. <a href="http://teycubermadera.com/modules.php?name=webstructure&amp;idwebstructure=43">http://teycubermadera.com/modules.php?name=webstructure&amp;idwebstructure=43</a> .....	8
Figura 5. Madera microlaminada LVL. <a href="https://www.maderea.es/madera-microlaminada-o-lvl-descripcion-usos-y-caracteristicas-beneficios-e-inconvenientes/">https://www.maderea.es/madera-microlaminada-o-lvl-descripcion-usos-y-caracteristicas-beneficios-e-inconvenientes/</a> .....	8
Figura 6. Madera de fibras paralelas PSL. <a href="http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/el-acero-como-material-complementario-en-las">http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/el-acero-como-material-complementario-en-las</a> .....	9
Figura 7. Tablero aglomerado. <a href="https://www.hguillen.com/2008/08/tableros-aglomerados-de-particulas-de-madera/">https://www.hguillen.com/2008/08/tableros-aglomerados-de-particulas-de-madera/</a> .....	9
Figura 8. Tablero contrachapado. <a href="https://www.gabarro.com/es/tableros/tableros-contrachapados/">https://www.gabarro.com/es/tableros/tableros-contrachapados/</a> .....	9
Figura 9. Tablero de virutas orientadas OBS. <a href="https://demasa.es/almacen-tableros-madera-osb-madrid/#prettyPhoto[postimages]/1">https://demasa.es/almacen-tableros-madera-osb-madrid/#prettyPhoto[postimages]/1</a> .....	10
Figura 10. Tipos de uniones. <a href="http://vgatec.blogspot.com/2013/05/disenio-de-uniones-en-estructuras-de.html">http://vgatec.blogspot.com/2013/05/disenio-de-uniones-en-estructuras-de.html</a> .....	10
Figura 11. <a href="https://www.forestmaderero.com/articulos/item/tecnicas-para.html">https://www.forestmaderero.com/articulos/item/tecnicas-para.html</a> .....	11
Figura 12. Ejemplo de empalme. <a href="https://www.forestmaderero.com/articulos/item/tecnicas-para.html">https://www.forestmaderero.com/articulos/item/tecnicas-para.html</a> .....	11
Figura 13. Unión mecánica mediante pernos. <a href="https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html">https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html</a> .....	11
Figura 14. Unión mecánica mediante clavos. <a href="https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html">https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html</a> .....	11
Figura 15. Unión mediante conector de anillo. <a href="https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html">https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html</a> .....	12
Figura 16. Colocación de los anillos de conexión. <a href="https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html">https://www.unav.edu/departamento/bcp/picturesMadUniMec02.html</a> .....	12
Figura 17. Unión mediante placa clavo. <a href="https://www.newhomereview.com.au/glossary/gusset-plate/">https://www.newhomereview.com.au/glossary/gusset-plate/</a> .....	12
Figura 18. Unión mediante placa clavo. <a href="https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0718-07642009000600007">https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0718-07642009000600007</a> .....	12
Figura 19. Unión mediante barras roscadas encoladas. <a href="https://tectonica.archi/materials/union-de-madera-laminada-mediante-varillas-de-acero-encoladas/">https://tectonica.archi/materials/union-de-madera-laminada-mediante-varillas-de-acero-encoladas/</a> .....	13
Figura 20. Unión mediante barras roscadas encoladas. <a href="https://tectonica.archi/materials/union-de-madera-laminada-mediante-varillas-de-acero-encoladas/">https://tectonica.archi/materials/union-de-madera-laminada-mediante-varillas-de-acero-encoladas/</a> .....	13
Figura 21. Placas auxiliares ocultas <a href="https://www.maderea.es/uniones-y-ensamblajes-con-madera/">https://www.maderea.es/uniones-y-ensamblajes-con-madera/</a> .....	13
Figura 22. Placas auxiliares vistas. <a href="https://www.maderea.es/uniones-y-ensamblajes-con-madera/">https://www.maderea.es/uniones-y-ensamblajes-con-madera/</a> .....	13

Figura 23. Defectos propios de la madera. <a href="https://maderayconstruccion.com/construir-con-madera-breve-guia-de-supervivencia-ii/">https://maderayconstruccion.com/construir-con-madera-breve-guia-de-supervivencia-ii/</a> .....	16
Figura 24. Azulado. <a href="https://maderame.com/madera-azulada/">https://maderame.com/madera-azulada/</a> .....	21
Figura 25. Pudrición blanca. <a href="http://blog.simbolocalidad.com/patologias-madera-tratamiento22">http://blog.simbolocalidad.com/patologias-madera-tratamiento22</a>	22
Figura 26. Pudrición parda. <a href="https://www.fumigaciobcn.cat/hongos-pudricion-la-madera/">https://www.fumigaciobcn.cat/hongos-pudricion-la-madera/</a> .....	22
Figura 27. Insectos de ciclo larvario. ....	24
Figura 28. Viga atacada por termitas. <a href="http://www.biocea.cl/termitas/">http://www.biocea.cl/termitas/</a> .....	24
Figura 29. Autoclave. <a href="https://maderame.com/tratamiento-autoclave/">https://maderame.com/tratamiento-autoclave/</a> .....	32
Figura 30. Protección mediante autoclave. <a href="https://www.maderasmenur.com/proteccion-la-madera-mediante-tratamiento-sistema-autoclave/">https://www.maderasmenur.com/proteccion-la-madera-mediante-tratamiento-sistema-autoclave/</a> .....	33
Figura 31. Centro Cultural de Lérez. Arquitectos Jorge Rodríguez+José María Soto. <a href="https://maderayconstruccion.com/madera-modificada/">https://maderayconstruccion.com/madera-modificada/</a> .....	35
Figura 32. Escuela Mouriz. Arquitecto: Nuno Lacerda. <a href="https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada">https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada</a> .....	35
Figura 33. Puente de Sneek. Aruitecto: Achterbosch Architectuur y Onix. <a href="https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada">https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada</a> .....	36
Figura 34. Estación marítima de Vilanova de Arousa. Arquitecto: 2C Arquitectos. <a href="https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada">https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada</a> .....	36
Figura 35. Casa para brotes. Arquitecto: TYIN tegnestue. <a href="https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada">https://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/madera-modificada</a> .....	37
Figura 36. Sistema de cebos para termitas. <a href="https://www.eliminar-termitas.es/tratamientos/eligir-cebos-antitermitas/">https://www.eliminar-termitas.es/tratamientos/eligir-cebos-antitermitas/</a> .....	52
Figura 37. Apeo temporal. <a href="http://www.ite-arquitectos.com/blog/index.php/2017/08/03/apeos-apuntalamientos/">http://www.ite-arquitectos.com/blog/index.php/2017/08/03/apeos-apuntalamientos/</a> .....	53
Figura 38. Apeo temporal. <a href="http://www.ite-arquitectos.com/blog/index.php/2017/08/03/apeos-apuntalamientos/">http://www.ite-arquitectos.com/blog/index.php/2017/08/03/apeos-apuntalamientos/</a> .....	53
Figura 39. Apeo permanente homodireccional. <a href="https://e-struc.com/2014/11/05/refuerzo-de-forjados-de-madera-iii-sustitucion-vs-refuerzo/">https://e-struc.com/2014/11/05/refuerzo-de-forjados-de-madera-iii-sustitucion-vs-refuerzo/</a> .....	53
Figura 40. Apeo permanente transversal. <a href="https://enriquealario.com/refuerzo-de-forjados-de-madera-por-la-cara-superior/#lightbox/3/">https://enriquealario.com/refuerzo-de-forjados-de-madera-por-la-cara-superior/#lightbox/3/</a> .....	54
Figura 41. Apeo diagonal. <a href="https://serviref.es/refuerzos-en-estructura-de-madera-con-hierro-y-sistema-beta/">https://serviref.es/refuerzos-en-estructura-de-madera-con-hierro-y-sistema-beta/</a> .....	54
Figura 42. Apeo mixto. <a href="http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf">http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf</a> .....	54
Figura 43. Jabalcones. <a href="http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf">http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf</a> .....	55
Figura 44. Refuerzo con perfil metálico. <a href="https://itearquitectes.com/2018/09/24/estructuras-de-madera-iii-iii-las-deficiencias-y-su-reparacion/refuerzo-viga-madera-2/">https://itearquitectes.com/2018/09/24/estructuras-de-madera-iii-iii-las-deficiencias-y-su-reparacion/refuerzo-viga-madera-2/</a> .....	55
Figura 45. Refuerzo de viguetas. <a href="http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf">http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf</a> .....	56
Figura 46. Refuerzo mediante perfiles y pernos. Apuntes evaluación y actuación en edificios ETSAVA. ....	56
Figura 47. Refuerzo con piezas de madera. <a href="https://jaltimira.files.wordpress.com/2012/01/degradaciocc81n-de-la-madera-patologias.pdf">https://jaltimira.files.wordpress.com/2012/01/degradaciocc81n-de-la-madera-patologias.pdf</a> .....	56
Figura 48. Refuerzos con madera. Apuntes evaluación y actuación en edificios ETSAVA. ....	57
Figura 49. Intervención en viga de madera con sistema Beta. <a href="http://sofcar.es/portfolio/reparacion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/">http://sofcar.es/portfolio/reparacion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/</a> .....	57
Figura 50. Intervención en viga de madera con sistema Beta. <a href="http://sofcar.es/portfolio/reparacion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/">http://sofcar.es/portfolio/reparacion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/</a> .....	57
Figura 51. Intervención en viga de madera con sistema Beta. <a href="http://sofcar.es/portfolio/reparacion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/">http://sofcar.es/portfolio/reparacion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/</a> .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 52. Intervención en viga de madera con sistema Beta. <a href="http://sofcar.es/portfolio/reparacion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/">http://sofcar.es/portfolio/reparacion-de-vigas-de-madera-con-sistema-beta/</a> .....	58
Figura 53. Reparación de la cabeza de la viga. <a href="https://jaltimira.files.wordpress.com/2012/01/degradacioc81n-de-la-madera-patologias.pdf">https://jaltimira.files.wordpress.com/2012/01/degradacioc81n-de-la-madera-patologias.pdf</a> .....	58
Figura 54. Refuerzo de las viguetas de un forjado. Arriaga Martitegui, Francisco. <i>Intervención en estructuras de madera</i> . .....	59
Figura 55. Viga parteluz de refuerzo. Arriaga Martitegui, Francisco. <i>Intervención en estructuras de madera</i> . .....	59
Figura 56. Consolidación con placas internas. Arriaga Martitegui, Francisco. <i>Intervención en estructuras de madera</i> . .....	60
Figura 57. Consolidación mediante barras de refuerzo. Arriaga Martitegui, Francisco. <i>Intervención en estructuras de madera</i> . .....	60
Figura 58. Refuerzo frente a una viga llena de fendas. Arriaga Martitegui, Francisco. <i>Intervención en estructuras de madera</i> . .....	61
Figura 59. Reconstrucción de la parte superior de una viga con mortero epoxi. <a href="http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/\$file/ATT1GDXT.PDF">http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/\$file/ATT1GDXT.PDF</a> .....	61
Figura 60. Reconstrucción de la parte superior degradada de una viga con mortero epoxi. Arriaga Martitegui, Francisco. <i>Intervención en estructuras de madera</i> . .....	62
Figura 61. Refuerzo mediante perfiles metálicos. <a href="http://www.gesapsl.es/blog/tecnicas-de-refuerzo-de-vigas-iii/">http://www.gesapsl.es/blog/tecnicas-de-refuerzo-de-vigas-iii/</a> .....	62
Figura 62. Refuerzo de forjado autoportante. <a href="http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/\$file/ATT1GDXT.PDF">http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/\$file/ATT1GDXT.PDF</a> .....	63
Figura 63. Refuerzo de un forjado de madera. <a href="https://enriquealario.com/refuerzo-de-forjados-de-madera-por-la-cara-superior/#lightbox/6/">https://enriquealario.com/refuerzo-de-forjados-de-madera-por-la-cara-superior/#lightbox/6/</a> .....	64
Figura 64. Refuerzo de un forjado de madera. <a href="https://enriquealario.com/refuerzo-de-forjados-de-madera-por-la-cara-superior/#lightbox/6/">https://enriquealario.com/refuerzo-de-forjados-de-madera-por-la-cara-superior/#lightbox/6/</a> .....	64
Figura 65. Refuerzo de un forjado de madera. <a href="http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/\$file/ATT1GDXT.PDF">http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A14BA8339020D1A2C12582CC00415A21/\$file/ATT1GDXT.PDF</a> .....	64
Figura 66. Calzado de un pie derecho con resina epoxi. <a href="http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf">http://oa.upm.es/53437/1/L032009TCXIMadera.pdf</a> .....	65
Figura 67. Apoyo de un pie derecho sobre fábrica de ladrillo. <a href="https://estructur.com/2015/07/22/deterioro-de-pies-derechos-de-madera-en-entramados-sustituciones-correctas/">https://estructur.com/2015/07/22/deterioro-de-pies-derechos-de-madera-en-entramados-sustituciones-correctas/</a> .....	65



## 9 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clases de uso y riesgo biológico.</i> .....	25
Tabla 2. <i>Penetración de los tratamientos.</i> .....	28
Tabla 3. <i>Tipo de protección según la clase de uso.</i> .....	29
Tabla 4. <i>Relación entre protectores, métodos de aplicación y su alcance.</i> .....	40
Tabla 5. <i>Protección frente a la corrosión.</i> .....	41
Tabla 6. <i>Espesores para la resistencia al fuego.</i> .....	43
Tabla 7. <i>Porcentajes de las causas de siniestros en las estructuras de madera</i> .....	52