

Patología de la construcción con madera

F. LASHERAS
Dr. Arquitecto

SUMARIO.—I. PROBLEMÁTICA. 1. Acciones típicas. 2. Constitución. Elementos y sistemas constructivos. 3. Comportamiento y circunstancias constructivas.—II. LESIONES Y SÍNTOMAS TÍPICOS. 1. Lesiones propias (en elementos y estructura). 2. Lesiones asociadas y síntomas.—III. CAUSAS MATERIALES Y MECANISMOS DE DETERIORO. 1. Abusos de conservación (acción antrópica). 2. Agresiones externas y agentes de deterioro. 3. Defectos, limitaciones, y malformaciones de los materiales. 4. Defectos de la disposición constructiva.—IV. TÉCNICAS DE INSPECCIÓN Y CONTROL. 1. Información previa. 2. En obra. 3. En laboratorio. 4. Oficina técnica. Peritación y comprobación.—V. ACTUACIONES DE REFUERZO Y REPARACIÓN. 1. Eliminación de riesgos y estabilización. 2. Consolidación. 3. Liberación. 4. Reconstrucción. 5. Refuerzo. 6. Sustitución física o funcional, parcial o total, de elementos estructurales.—VI. MEDIDAS DE PREVENCIÓN. 1. Diseño. 2. Ejecución. 3. Conservación.—VII. BIBLIOGRAFÍA.

I. PROBLEMÁTICA

1. ACCIONES TÍPICAS

Además de las acciones mecánicas propias de cualquier elemento constructivo, especialmente si tiene funciones estructurales, la madera tiene una problemática específica de degradación, siendo especialmente sensible a los agentes destructores de la edificación más importantes: el fuego y la humedad. Tradicionalmente, las acciones y agentes destructores de la madera se clasifican en *abióticos* y *bióticos*. Los principales son los siguientes:

- Agentes **abióticos**: están principalmente relacionados con factores ambientales, climáticos y meteorológicos. Causan deformaciones y desplazamientos (revirados, etc.), fendas, hinchamientos, etc., o su combustión en el caso del fuego. Los más importantes son:

- Fuego
 - Humedad ambiente
 - Lluvia
 - Radiación solar
- Agentes **bióticos**: son organismos vivos que alteran o degradan la madera, los más importantes porque se alimentan o viven en ella (*xilófagos*). Los grupos más importantes son los siguientes:
- Microorganismos (algas, bacterias, etc.).
 - Hongos
 - Insectos
 - * Larvarios
 - * Sociales
 - Otros: aves, moluscos, roedores, etc.

Los elementos o sistemas constructivos realizados con madera no sólo soportan las agresiones específicas del material, sino las propias de su función constructiva.

- El caso de **armaduras de cubierta** también se trata en otro capítulo de este Tratado. Aquí recordaremos que las acciones mecánicas más importantes en este caso son el peso propio y viento, lo que obliga a disponer elementos de estabilización (o rigidización) longitudinales y transversales y, según su inclinación y peso, frente a su posible levantamiento o vuelco por empuje o succión del viento. En cubiertas antiguas, es relativamente frecuente que el peso de agujas, chapiteles, o incluso muros de cuerpos elevados sobre la cubierta (cruceos, torreones, etc.) apoyen directamente sobre los pares u otros elementos de madera, sin que su carga se transmita directamente a los elementos comprimidos correspondientes, lo que, con el tiempo, genera grandes deformaciones, a veces poco compatibles con la rigidez de las fábricas de albañilería.
- Los **entramados de muros** tienen una problemática que suma a la propia de los muros de fábrica la de los elementos de madera. La heterogeneidad de materiales, y la difícil compatibilidad de deformaciones entre elementos de albañilería y de carpintería, genera una amplia casuística de deformaciones que, singularmente, no siempre es tan grave como pudiera parecer a primera vista. La función de defensa contra el agua, propia de todo cerramiento, y la ocultación o empotramiento de los elementos de madera en el interior del muro, lleva a muchas situaciones en las que la madera es la gran perjudicada, llevando finalmente a que las fábricas, inicialmente con una función secundaria de rigidización y relleno, tengan que acabar soportando una función portante para la que no fueron construidas.
- Y en el caso de los **forjados**, las situaciones patológicas más frecuentes se dan

con una combinación de deformación, debida a fenómenos de fluencia bajo cargas relativamente altas y constantes, con el ataque de organismos xilófagos, especialmente en los apoyos empotrados.

2. CONSTITUCIÓN. ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Las características y propiedades de la madera más significativas para entender su comportamiento y patología pueden encontrarse en la bibliografía indicada al final de este capítulo. Asimismo, en Internet se encuentra fácilmente información al respecto¹.

Los elementos típicos y más tradicionales de una **cubierta** de madera se describen en otro capítulo de este Tratado. Los **entramados** de madera forman un sistema constructivo cuya antigüedad se pierde en el inicio de la arquitectura. Por ejemplo, aparecen ya claramente configurados en el 2º milenio a.C. en la arquitectura minoica, y en la construcción romana, en época republicana, siendo entonces designados como *opus craticium*, probablemente por la retícula entramada que forman los maderos. Tanto para cubiertas como para entramados y forjados, y para el dimensionado de las secciones de las piezas, tradicionalmente se han utilizado las medidas que se derivan de las distintas fracciones de la *vara*², como las siguientes:

- **Media vara** o *codo* (1'5", 24 dedos y ~42 cm)
- **Tercia** o *pie* (1', 16^d, 12'', ~28 cm)
- **Pie y cuarto** (20^d, ~35 cm)
- **Cuarta** o *palmo* (12^d, 9'', ~21 cm)
- **Sexta**, *sesma*, *medio pie* o *jeme*³ (8^d, 6'', ~14 cm)
- **Octava** o *coto* (6^d, 4'5'', ~10,5 cm)
- Y, ya más pequeñas, la **pulgada**⁴ (1^{1/3d}, 23,2 mm) y el **dedo** (1^d, 1,74 cm).

Así, y aunque las dimensiones varían según tipos de madera y regiones, las escuadrías de las piezas más usadas, y sus denominaciones, eran las siguientes:

- **Viga**: $a \times e = 255, 280, 300 \times 150 \sim 200$ mm y $l = 4 \sim 10$ m.
 - Se designaba como **vigueta** si la sección era de 8~15 cm de lado, con longitudes de hasta unos 12~13' (~5 m). La escuadría más típica era del orden de 21 × 15 cm

1. Con las reservas oportunas, pueden verse la dirección <http://es.wikipedia.org/wiki/Madera>.
 2. La castellana de unos 84 cm, se subdividía en 3' *pies* (o *tercias*), 4^p *palmos* (o *cuartas*), 36'' *pulgadas* o 48^d *dedos*. Su equivalencia exacta con el s.m.d. es de 835,9 mm (Mariano Monasterio [1877] 15, 83 y 139).
 3. O *jeme*. Procede del latín *semis*. Es la distancia entre las puntas de los dedos índice y pulgar con la mano abierta. Su equivalencia en el s.m.d. es de 13,9 cm (ESPASA Tº XXVIII, pg. 2634).
 4. Es la duodécima parte del *pie*, de forma que la *vara* tiene 36 *pulgadas*. La *pulgada* inglesa es mayor, de 25,4 mm, pues su *pie* es de 30,5 cm.

- **Tablón:** $e > 50$ mm, y $a \times e = 115 \sim 250 \times 50 \sim 120$ mm, con predominio de 205×76 mm ó 230×105 mm, y $l = 2 \sim 10$ m.
 - Cuando la sección es cuadrada se solía designar como *larguero*, aunque también esta es la designación genérica de la pieza vertical de un cerco.
 - El *madero (de a seis)* tenía unos $18 \times 11,5$ cm, y el *de a ocho* unos 15×9 cm, siendo el *de a diez* de unos $11,5 \times 8$ cm
- **Tabloncillo:** $a = 105, 155, 180, 205, 230$, y $e = 52/76$ mm.
- **Tabla,** $e = 15 \sim 40$ mm, y predominio del ancho, $a \times e = 100 \sim 250 \times 15 \sim 40$ mm.
- **Listón,** cuadrado o ligeramente rectangular de lado $50 \sim 100$ mm.
 - Se designa como **listoncillo** si el lado de la sección es < 50 mm.
- **Ripia, lata o chilla** a las tablas de costeros y sin cepillar, normalmente con $e < 15$ mm. La *ripia* es de unos 21×1 cm, y la *chilla* es de unos 28×2 cm.

Como se ha dicho, los **entramados** verticales comparten características funcionales y mecánicas con los muros de fábrica y con las estructuras reticulares, y no hay que olvidar que el cuajado de fábrica, que sirve inicialmente de arriostramiento transversal, cuando fallan los pies derechos empieza a cumplir otra de apoyo estructural. Los **elementos** constructivos principales de un entramado son los siguientes (**Fig. 1.2/1**):

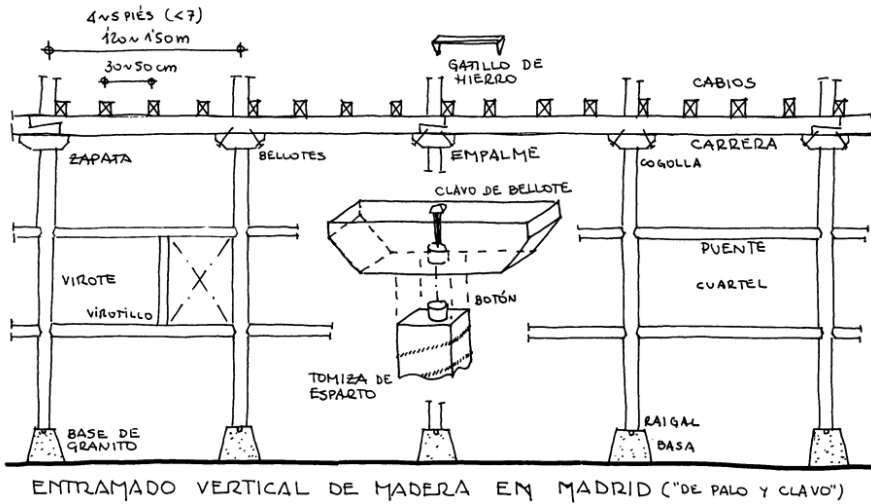


Fig. 1.2/1. Elementos de un entramado de madera tradicional

- **Basas** o *dados* de apoyo, normalmente de granito y cajeados para el *botón* del pie derecho que evita su desplazamiento.
 - **Carrera**, habitualmente de sección *cuarta* × *sesma* (12 × 8 dedos = 21 × 14 cm). Se empalman, habitualmente, a media madera y en línea con los pies derechos, cuya carga estabiliza la unión, aunque también pueden disponerse clavos para afianzar la unión durante la ejecución de la obra.
 - **Clavazón** de hierro forjado, utilizada para sujetar maderos, típicamente zapatas a pies derechos y viguetas a carreras. En los entramados se utilizan habitualmente dos formas o tipos:
 - **Clavos**, de cuerpo piramidal muy alargado y cabeza en forma de bellota. Según su longitud se distinguían los *gruesos* (>1 pie), *medianos* (>1/2 pie) y *menudos*, con las siguientes denominaciones:
 - * **Estaquilla** (24'', ~56 cm) y *media estaquilla* (15''~35-40 cm), de unas 7 *líneas*⁵ de grueso.
 - * **Pie y cuarto** (13'', ~33 cm), *pie* (12'' ~28 cm) y *de cuarta* (9'', ~14-21 cm), de unas 5-6 *líneas* de grueso.
 - * **Bellote** (7'', ~13-17 cm) y *bellotillo* (6'', ~11-15 cm), de unas 4 *líneas* de grueso.
 - * **Dos cuartos** (5'', ~13 cm), *de a cuarto* (3'5'', ~9 cm), y *de a ochavo* (3'', ~7 cm).
 - * La clavazón *menuda* estaba formada por clavos *de chilla* (2'5'', ~5,5 cm), *media chilla* (2'', ~4,5 cm), *agujuelas* (1^{3/4}'', ~3,5 cm) y *tabaques* (1'', ~2,5 cm). Los más pequeños que los anteriores, denominados genéricamente *alfileres* o *puntas*, ya eran propios de la carpintería *de taller*.
 - **Grapas**, en forma de «U» con sus dos brazos en punta, para fijar el empalme entre carreras.
- **Codal** o *puente*, pieza horizontal intermedia que parte la altura del pie derecho. Normalmente colocada a los cuartos o a los tercios de esta, según sea.
- **Cuajado** de *cuarteles*, fábrica, cascote, yesones, etc.
- **Pie derecho**, o soporte vertical, con escuadrías habituales de *pie y cuarto* ($h = 4$ m, $l = 1,40$ m), *tercia* ($h = 4,30$ m, $l = 1,40$), *sesma* ($h = 4,30$ m, $l = 1,40$), maderos *de a seis* ($h = 3,35$ m, $l = 1,40$), *medios maderos* de a seis ($h = 3$ m, $l = 1,40$), y maderos *de a ocho* ($h = 3,20$ m, $l = 1,40$).
 - Se denomina **cornijal** al de esquina, y **enano** al de media altura.
- **Zapata**, o pieza de capitel que se coloca como transición entre el pie derecho y la carrera, acortando su luz.
- También aparecen, como elementos o materiales secundarios, los siguientes:

5. Equivale a 1,93 mm. Un *dedo* tiene 9 *líneas*, y una *pulgada* 12.

- *Cabeceros* o dinteles de huecos.
- *Jabalcones* o *tornapuntas*, y *cruces de S. Andrés* para el arriostamiento de los paños o *telares* del entramado.
- *Jambas* o largueros verticales de los huecos de iluminación o paso.
- *Lías* o *tomizas*, cuerdas de esparto trenzado enrolladas en pies derechos y viguetas para que el revestimiento de yeso se adhiriera a ellas y no se desprenda de la madera⁶.
- *Marcos* de huecos de paso y ventanas.
- *Peanas*, o elementos horizontales inferiores del cerco o marco de los huecos, especialmente de los de paso.
- *Sobrecarrera*, habitual en algunos sistemas constructivos con madera, no en Madrid, corre por encima de las cabezas de las viguetas.
- *Sopanda*, elemento de refuerzo de una carrera o viga, muy frecuente en pórticos ajabalconados y, normalmente, entre ellos.
- Tabiques *colgados*, en dirección paralela a las viguetas pero que, en lugar de apoyar directamente en ellas, apoyan en marco rígido, a modo de diafragma, que hace posible su sujeción sin apoyarse en el forjado.

Los forjados, tradicionalmente se han designado como **suelos**, a veces *entramados horizontales*, pues el *forjado* era la operación de rellenar el espacio libre entre viguetas. Los elementos más importantes son los siguientes:

- **Brochal**, o vigueta que apoya en otras y, a su vez, suele servir de apoyo a alguna vigueta. Es la solución normal para hacer huecos para el paso de chimeneas, escaleras, etc. En general el brochal tiene la misma sección que el resto de viguetas del forjado.
- **Carrera**, o elemento horizontal de apoyo de las viguetas sobre el muro. Inicialmente no funciona como una viga, pues se apoya de forma continua en el muro, sino como elemento de apoyo y reparto de carga de las viguetas del forjado, y como *cadena* de atado del muro.
- **Cuajados** o *rellenos* del entrevigado, con botes cerámicos (*calambucos*), *bovedillas* (bóvedas pequeñas tendidas entre vigueta y vigueta, normalmente con la ayuda de un encofrado adecuado, o *galápago*), o cascote y ripio, tableros de madera o rasilla, etc.
- **Viguetas**, con escuadrías típicas de *sesma* ($l = 24'$, 7 m), *vigueta* ($l = 18'$, 5,40 m), maderos de *a seis* ($l = 15'$, 4,50 m), de *a ocho* ($l = 13'5''$, 4,10 m) y de *a diez* ($l = 12'$, 3,60 m) (**Fig. 1.2/2**). Además, si el entrevigado es de yeso, suelen ir rodeadas por lías de esparto, para mejorar la adherencia de éste. Una alternativa es la ejecución de muescas con hacha o piqueta o el claveteado de *tabaques* o *puntas*.

6. La adherencia natural del yeso a la madera es prácticamente imposible.

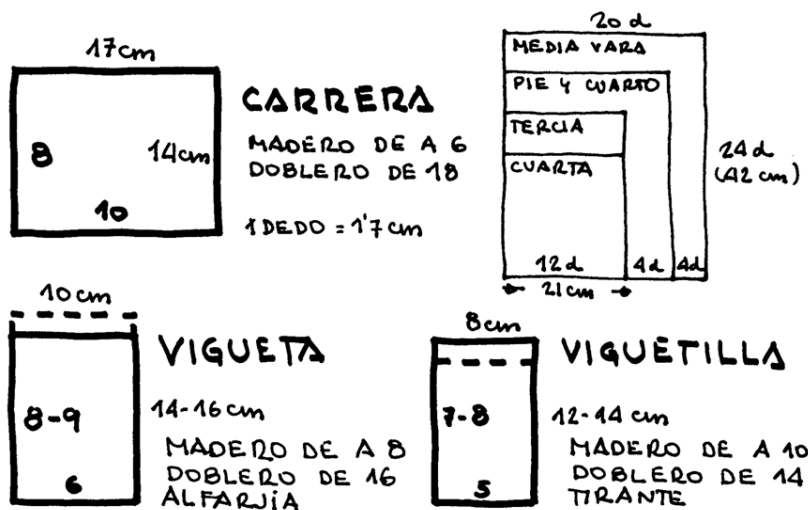


Fig. 1.2/2. Escuadrías típicas de carreras y viguetas, y marcos de pies derechos, en centímetros y dedos

– *Zoquete*, o pieza encajada entre dos viguetas, normalmente en forjados de luces mayores de unos 15' (4,50 m), para ayudar a su rigidización transversal y, en alguna medida, para repartir carga y deformación entre viguetas colindantes⁷.

3. COMPORTAMIENTO Y CIRCUNSTANCIAS CONSTRUCTIVAS

Aunque los entramados y estructuras de madera, en general, tienen un comportamiento dúctil y bastante *noble*⁸, tienen algunos problemas típicos, como son:

– Aplastamiento transversal de elementos comprimidos en dirección perpendicular a la fibra, como es el caso de las carreras bajo pies derechos y de las zapatas (Fig. 1.3/1). Aunque el aplastamiento finalmente se detiene, provoca importantes grietas de corte en los revestimientos murales.

7. Esta función no es muy segura; depende del encaje del zoquete, normalmente a presión y por rozamiento, y aunque no es muy fiable, puede cumplir parcialmente esta función.
 8. Un buen resumen del comportamiento mecánico de la madera desde el punto de vista de la teoría de la elasticidad puede verse en ARGÜELLES y ARRIAGA (1988). Una visión más técnica se refleja en el CTE DB SE-M. Sin embargo ninguna de ellas está específicamente adaptada al caso de edificios o sistemas constructivos *antiguos*.



Fig. 1.3/1. Cala en el revestimiento de yeso de un muro con entramado de madera. El pie derecho aplasta a la carrera. No es un problema de inestabilidad pero genera grietas en paredes y revestimientos, y hace que la carrera superior se apoye en el cuajado de fábrica y no en el pie derecho

- Deformabilidad global y falta de rigidez estructural, debido a la inherente articulación de los nudos estructurales. Esta situación, como la anterior, lleva a la presencia habitual de grietas irrelevantes pero que pueden enmascarar a otras que tal vez no lo sean.
- Las deformaciones propias de un edificio con muchos años de vida, construido con madera, implican casi siempre que ni las paredes son verticales ni los suelos horizontales, lo que complica las reparaciones por la necesidad de ajustar la geometría de los elementos de refuerzo o sustitución a la de los elementos conservados.
- En el caso concreto de los **forjados** de piso nos encontramos además con:
 - * Deformación diferencial de viguetas por diferencias de cargas y/o diferencias intrínsecas entre viguetas adyacentes, acentuadas en el caso de falta de coincidencia vertical de las tabiquerías de las diferentes plantas, y aparición de las llamadas fisuras *de tecleo*.
 - * Deformación plástica de las viguetas, por la fluencia natural de la madera.
- Y en el caso de **armaduras** de cubierta
 - * La flexión de los pares reduce la pendiente en el tramo inferior posibilitando la entrada de agua.
 - * Las deformaciones y fugas en canalones favorecen la pudrición de aleros y apoyos de pares.

- Destrabazón local de elementos, nudos de entramado y de cubiertas, por deformaciones higrométricas y revirados de las barras que confluyen (**Fig. 1.3/2**).



Fig. 1.3/2. El *punte* o travesaño de un entramado se separa del pie derecho y deja de apoyarse en él, y de transmitirle la carga de la fábrica superior, para trasladársela a la inferior

- La madera, como todos los materiales naturales, está sometida a una variabilidad de características, dimensiones y otras propiedades que, además de normal, es relativamente amplia, y más en edificios antiguos en los no se llevaba a cabo ningún proceso de selección ni control de calidad en el sentido actual de ambos términos. Asimismo, con frecuencia, se mezclaban elementos reaprovechados de construcciones anteriores y de distinta procedencia.
- Y, en general, nos encontramos ante sistemas estructurales sobredimensionados para sus necesidades resistentes, pero infradimensionados para las de rigidez.
- Otros problemas característicos, como son las fendas y la indeterminación de la sección real resistente (**Fig. 1.3/3**), infecciones y pudriciones por xilófagos, movilidad higrométrica, y comportamiento ante el fuego, se tratan más adelante.



Fig. 1.3/3. Las fendas de una viga llegan, en este caso, hasta el corazón de la pieza, y casi la parten en dos. La viga funciona, en esta sección, como una doble T con aproximadamente los 2/3 superiores como cabeza comprimida, y el tercio inferior de tracción, y el corazón absorbiendo el rasante correspondiente, pero esto va cambiando en diferentes secciones según sea la posición y profundidad de las fendas

En general, y por su propia constitución, la mayor parte de los **problemas patológicos** de las estructuras de madera suelen situarse más en el nivel del *material* que en el del *elemento* o en el del *sistema*, aunque tampoco son raros en éstos porque, obviamente, el nivel del *material* repercute en el del *elemento* y el de éste en el del *sistema*.

- Habitualmente las **lesiones** empiezan, o son más visibles, en las zonas más rígidas del edificio, como son sus cerramientos y particiones. Resumidamente, las lesiones más frecuentes de los elementos de madera son:
 - *Deformaciones* como *dislocaciones*, *flexiones* y *revirados*.
 - *Infecciones* y *putrificaciones* por organismos xilófagos.
- Cuya **causa** más frecuente suele estar relacionada con la presencia más o menos constante de *humedad*, lo que junto con las lesiones citadas provoca **fallos** de *resistencia* y *rigidez* de los elementos estructurales. Así, los **fallos** más significativos, entendidos como pérdida de prestaciones funcionales, son los siguientes:
 - Los que afectan a la **solidez**, o **fallos mecánicos** como pérdida de capacidad mecánica (resistencia), estabilidad, rigidez y, en definitiva, seguridad.
 - Los que afectan a la **utilidad** o comodidad de uso del edificio, o **fallos funcionales**, como por ejemplo la pérdida de nivelación (horizontalidad o verticalidad), con su posible repercusión en la durabilidad.
 - Los que afectan al **decoro**, o **fallos estéticos**, como cambio de coloración o fisuraciones inducidas, que suelen tener mínima o nula relevancia estruc-

tural, por lo que más bien deben enfocarse con la patología propia de *cerramientos, revestimientos y paramentos*.

– Por otro lado, los **síntomas** más frecuentes de los problemas patológicos de las estructuras de madera son:

- Deformación de carpinterías de puertas y ventanas, y cerramientos horizontales o verticales.
- Fisuras o grietas en cerramientos y particiones de fábrica, y en forjados.
- Manchas de hongos.
- Picaduras de insectos y desprendimientos de serrín.
- Sonidos *huecos* en los elementos de madera, frente a impactos manuales.

II. LESIONES Y SÍNTOMAS TÍPICOS

I. LESIONES PROPIAS (EN ELEMENTOS Y ESTRUCTURA)

A.–Las *lesiones sustanciales* propias más importantes que suele presentar la **madera**, sin relación directa con la funcionalidad del elemento constructivo, son las siguientes:

– **Fendas**, grietas generadas por el secado diferencial de la madera, y que aparecen típicamente *sesgadas*, siguiendo la dirección *casi longitudinal* de las fibras del árbol (**Fig. 2.1.A/1**). Su importancia radica en que reducen la capacidad resistente de la pieza, pero no por pérdida de sección, que no se da, sino por reducción del momento de inercia y del módulo resistente, de forma difícilmente cuantificable, pues aparte de su dirección, su longitud es variable, como su presencia a lo largo de la pieza, lo que siempre plantea cierta incertidumbre sobre la seguridad del elemento estructural. Hay que considerar además que:



Fig. 2.1.A/1. Fendas en zig-zag de un par de cubierta. Su profundidad y trazado reduce la sección mecánica resistente de la pieza

- En los cortes y ensambles pueden rajar la madera y dislocar el nudo.
 - En alineaciones de clavos, pasadores o tornillos pueden favorecer su formación y la rotura longitudinal de la pieza en dos separadas. Esta circunstancia es más difícil si estos elementos se colocan al tresbolillo, y se despuntan los clavos para aplastar, en lugar de separar, las fibras de la madera en su penetración. También es más adecuado el uso de espigas, que al taladrar la madera evitan su rajado.
 - En pilares o pies derechos suelen mantener el sentido del sesgo en toda la pieza.
 - En vigas pueden variar el ángulo según el lado de apoyo, y según el sentido de los esfuerzos cortantes y rasantes⁹.
- **Infecciones** de insectos (xilófagos) que llevan a la pérdida de material (que es digerido por los insectos) y, en consecuencia, de características mecánicas (sin materia no hay resistencia). Los insectos xilófagos más importantes de cara a la patología de la madera en la edificación se han descrito muchas veces en la bibliografía¹⁰, y pueden encontrarse sus fotos y características fácilmente en Internet. A grandes rasgos existen dos grupos claramente diferenciables:
- Los **coleópteros** (*escarabajos*), fácilmente reconocibles porque son sus larvas las viven y se alimentan de la madera, de forma que sus heces aparecen en forma de desprendimiento de polvo, y la superficie de la madera aparece perforada por los adultos que salen al exterior, una vez producida su metamorfosis, para completar tras el apareamiento su ciclo vital (**Fig. 2.1.A/2**).



Fig. 2.1.A/2. Madera atacada por coleópteros (curculiónidos, en este caso), y galerías de las larvas (tercio inferior de la imagen). En la parte central de la pieza pueden observarse, también, micelios micóticos, y más arriba la pudrición de la madera

9. El *cortante* es perpendicular a la longitud de la pieza, mientras que el *rasante* es paralelo a esta.
 10. Ver, por ejemplo, BRAVERY et al. (1987) y BRAVERY et al. (1987).

- Los **termes** (*termitas*) también se reconocen con facilidad por su parecido (relativo) con las hormigas. Son insectos sociales que forman grandes colonias que viven generalmente bajo tierra, a veces separados del edificio, al que llegan por pequeños túneles y galerías cerradas, pues por su falta de quitina no soportan la luz solar (**Fig. 2.1.A/3**). Generan en la madera abultamientos superficiales y galerías, a veces con restos de barro, pues utilizan este para cerrar las galerías que pasan por zonas descubiertas (**Fig. 2.1.A/4**).



Fig. 2.1.A/3. Pie derecho atacado por termes. El ataque deja la superficie perimetral de la pieza relativamente íntegra, pues los termes huyen de la luz, pero con el interior de la pieza prácticamente vacío



Fig. 2.1.A/4. Galerías de termes para el paso por zonas descubiertas, en un porche y en un muro de sótano

- **Pudriciones** por hongos xilófagos que, como en el caso de los insectos, también causan la pérdida de masa y resistencia específica. Aparecen cambios de coloración, destonificaciones y manchas de hongos (**Fig. 2.1.A/5**), generalmente en zonas húmedas o que han estado en contacto con la humedad. Como en el caso de los insectos, también los hongos xilófagos están descritos en la bibliografía¹¹; asimismo en Internet se encuentran fácilmente datos sobre ellos. Habitualmente, se clasifican, según los componentes de la madera de los que se alimenten, como:



Fig. 2.1.A/5. Hifas y micelio de un hongo sobre la superficie de una viga de madera

- Pudriciones **blancas**, cuando los hongos se alimentan de la lignina de la madera, y dejan la celulosa, como masa fibrosa deslavazada.
- Pudriciones **pardas**, cuando, por el contrario, los hongos se alimentan de la celulosa, dejando la madera oscurecida por la mayor presencia relativa de lignina, que forma masas cubicoides y pulverulentas que se deshacen con facilidad.
- **Quemaduras** causadas por contacto con el fuego, sin necesidad de un incendio, Es el caso normal de elementos de madera cerca de conductos de humos o chimeneas, pero también en la cercanía de uniones soldadas si no se toman las precauciones oportunas.

B.–Las **lesiones formales** que encontramos en los elementos del entramado, como carreras y pies derechos, pares o vigas, son típicamente dos: *deformaciones* y *roturas*.

- Las **deformaciones** generan grietas y dislocaciones en los cuajados y rellenos de forjados y muros, y en general en cualquier elemento de fábrica soportado por la estructura, pues las rigideces de una y otra son bastante diferentes. Los tipos de deformación más habituales son:

11. Ver, por ejemplo, MOURIER et al. (1979) y LASHERAS (1998).

- El **aplastamiento** de carreras y zapatas por cargas concentradas.
 - Las **flexiones** elásticas y plásticas de pares y vigas.
 - El **pandeo** de pies derechos exentos.
 - Y el **revirado** de las piezas sometidas a excepcionales o periódicos cambios higrométricos.
- Por su parte, las **roturas** de los elementos de madera de un entramado son excepcionales, aunque no totalmente desechables. Algunas veces pueden aparecer en elementos flectados, como pares o viguetas, o incluso en zapatas. Asimismo pueden aparecer en zonas de apoyo de vigas o viguetas, por su esfuerzo cortante. Con frecuencia las roturas coinciden con la presencia de nudos o fendas previas en la madera.

C.–En cuanto a las **lesiones posicionales** las más frecuentes en un entramado son las **dislocaciones** de los nudos, casi siempre provocadas por desplazamientos higrotérmicos o mecánicos. El problema de estas es que se reducen la sección de apoyo y la rigidez del nudo, aumentando también el efecto local de los aplastamientos, deformaciones, etc. Podemos distinguir tres tipos de dislocación:

- Por **apertura**, típicas de encuentros en ángulo, como los de las carreras de fachada medianería, los de estribo-par, y similares.
- Por **deslizamiento longitudinal**, típicas de empalmes a media madera, como los de las carreras, y de los encuentros de travesaños o puentes con pies derechos.
- Por **desplazamiento transversal**, que también aparecen en puntos como los anteriores, pero cuando las deformaciones globales son perpendiculares a los planos de conexión o empalme de las piezas de madera.

2. LESIONES ASOCIADAS Y SÍNTOMAS

Describimos a continuación el grupo de lesiones y síntomas asociados a los propios de los elementos de madera, pero que o bien aparecen en su génesis o acompañando a la lesión principal, coadyuvando con ella en perjuicio del elemento constructivo (lesiones *integradas*), o bien aparecen como consecuencia de las lesiones principales en elementos del mismo o diferente sistemas constructivo (lesiones *derivadas*)¹².

A.–Como **lesiones integradas**, en el caso que nos ocupa, suelen aparecer una o más de las descritas en el apartado anterior, pues es normal que intervengan simultáneamente varios de los agentes citados. Por ejemplo, la combinación humedad + hongos + insectos es casi una constante en las situaciones patológicas de los

12. De cara al diagnóstico y a la reparación, esta distinción tiene la finalidad de discriminar el problema principal de los complementarios o secundarios, y los que deben tratarse simultánea o secuencialmente. Asimismo las lesiones integradas o derivadas pueden servir de síntomas de las lesiones principales propias del sistema.

sistemas constructivos en madera. En estos casos, aunque suele alguno de estos agentes el más responsable de la degradación de la madera, nunca el resto aparece como acompañante inocuo e incluso, en muchos casos, aparecen como agentes simbióticos, por lo que las lesiones causadas por cada uno de ellos difícilmente pueden separarse como si fueran independientes. En cualquier caso, podemos citar como algunas de las lesiones que habitualmente se integran simultáneamente con las propias de los elementos de madera, las siguientes:

- Asientos, deformaciones y grietas en elementos de fábrica y forjados.
- Pérdidas de estanquidad de cerramientos, cubiertas e instalaciones.

B.—Por otro lado, también es normal encontrarnos con un amplio conjunto de *lesiones derivadas* en otros elementos o sistemas constructivos, como por ejemplo las que se citan a continuación:

– En **cerramientos**:

- Asientos, deformaciones y grietas, etc.
- Desajuste de carpinterías o rotura de vidrios.

– En **cubiertas**

- Crecimientos vegetales en zonas de escorrentía
- Desplazamiento o rotura de tejas.
- Meteorización de morteros.

– En **revestimientos**

- Decoloraciones o cambios de tonalidad.
- Deformaciones (abolsados, bufados, etc.) y desprendimientos.

– En **suelos y techos**:

- Dislocaciones de tejas y baldosas.
- Desprendimientos y grietas en cielorrasos de cañizo.
- Fisuras y grietas en cielorrasos y techos.

III. CAUSAS MATERIALES Y MECANISMOS DE DETERIORO

I. ABUSOS DE CONSERVACIÓN (ACCIÓN ANTRÓPICA)

Una de las primeras razones por las que los elementos de madera sufren un deterioro más acelerado es el uso inadecuado del edificio, o su mala conservación. Así, en nuestro caso, es muy frecuente encontrarnos situaciones como:

- Abandono o demora en la reparación de filtraciones de cubiertas, fugas de las instalaciones hidráulicas, etc.

- Falta de reposición de protecciones superficiales de la madera, como barnices o pinturas.
- Realización de reformas o reparaciones inadecuadas, como:
 - Apeo de pares de cubierta apoyando los puntales sobre los tirantes.
 - Colocación de revestimientos ligeros impermeables en paredes o suelos, que impide la *transpiración* de los cerramientos y la permanencia de la humedad en su interior. También la colocación de falsos techos en baños y cocinas, que forman cámaras de aire no ventiladas, favorecen la permanencia de la humedad y la acción de hongos de pudrición.
 - Eliminación de cuajados o fábricas en los cuarteles de entramados interiores, para dotar de mayor diafanidad a las viviendas, elimina su función *estabilizadora*, rigidizadora de los marcos estructurales, y de complemento resistente del entramado. Igual sucede cuando se quitan pies derechos, puentes o travesaños, u otros elementos estructurales, en reformas anárquicas y desintegradas con el resto del edificio.
 - Introducción de instalaciones hidráulicas, rozas en elementos de madera y, en general, reformas o traslados de baños y cocinas, con largos recorridos horizontales de bajantes con baja pendiente, etc.
 - Nivelación, relleno y sobrecarga de suelos flectados, con nuevos pavimentos que van añadiendo cargas muertas permanentes sobre los forjados.
 - Prótesis inadecuadas, especialmente si se fijan a la madera con tornillos o pasadores mal situados, o la madera no está suficientemente sana para mantener la acción de estos.
 - Etc.

2. AGRESIONES EXTERNAS Y AGENTES DE DETERIORO

En el apartado 1.1. ya vimos un cuadro general de los agentes agresores más importantes para la madera, por lo se resumen aquí los mecanismos de actuación y deterioro que corresponden a cada uno de ellos. Para esto los describimos, según su constitución y forma de actuación, clasificados en agentes *biológicos*, *físicos*, y *químicos*, aunque las acciones que realmente ejercen cada uno de ellos raramente son exclusivas o únicas, sino que casi siempre aparecen combinados varios agentes o mecanismos de deterioro. A este respecto interesa recordar que las principales alteraciones que provocan cada uno de estos agentes son la *consumición*, los agentes biológicos, la *deformación* los agentes físicos y más específicamente los mecánicos, y la *descomposición* en el caso de los agentes químicos.

A.-Agentes biológicos. Son seres vivos que provocan el llamado *biodeterioro*. Los principales son los hongos y los insectos xilófagos, aunque existen otros que, sin alimentarse de la madera, la destruyen por variados motivos; entre estos, están algunas hormigas, moluscos, pájaros carpinteros, roedores, etc.

– Los **hongos** xilófagos se describen con mayor detalle en el **Anexo 2**. En general, los hongos necesitan un ambiente relativamente húmedo y cálido para su desarrollo, aunque el hecho de que puedan vivir muchos años en condiciones secas, prácticamente inactivos, y la variabilidad de las condiciones ambientales a lo largo de los (muchos) años de vida de un edificio, hace que su potencial agresivo sea muy importante. Sus principales mecanismos de deterioro, de forma resumida, son los siguientes:

- Los **mohos**, como el *azulado* del pino, o el *pasmo* del haya, provocan alteraciones cromógenas, sin significativas pérdidas en las prestaciones mecánicas de la madera, aunque pueden anunciar el ataque, más importante, de otros hongos.
- Las **podriciones** están causadas por hongos más desarrollados que los *mohos*. Los hongos, en su acción digestiva y gracias a enzimas desprendidos por sus hifas, escinden los polímeros de la madera por reacciones de hidrólisis y oxidación, transformándolos en polisacáridos más sencillos y fáciles de asimilar por los hongos.

* En la llamada *podrición blanca* el hongo se alimenta principalmente de lignina, y la madera queda con las fibras de celulosa sueltas y descohesionadas. Frecuentemente es realizada por *ascomicetos*.

* En la *podrición parda* el hongo se alimenta de celulosa y hemicelulosa, por lo que la madera queda desligada y formando pequeños dados cubicoïdes de lignina que se pulverizan fácilmente. Frecuentemente es realizada por *basidiomicetos*.

– Un caso especial de esta es la *podrición seca*, producida por el *merulius lacrimans*, que es capaz de condensar la humedad atmosférica y trasladarla al punto de acción fúngica, por lo que no necesita un ambiente especialmente húmedo.

– Otro caso especial es la *podrición húmeda*, producida típicamente por el *coniophora cerebella* en ambientes muy húmedos y en ausencia de luz (bodegas y sótanos), en los que la madera queda finalmente reblandecida como una esponja.

– Los **insectos** xilófagos más importantes están descritos con mayor detalle en el **Anexo 3**, siendo su forma de actuación la siguiente:

- En el caso de los **coleópteros**, o *escarabajos*, la hembra pone sus huevos en la madera aprovechando alguna pequeña fisura de la misma. Cuando nace la larva, el gusano empieza a alimentarse de madera a la vez que va abriendo pequeñas galerías con cada bocado que da. Las heces, por quedan atrás. Las galerías van siendo de mayor sección, lógicamente, conforme crece el gusano. Cuando llega el momento de madurez, la larva se transforma en adulto mediante un proceso de metamorfosis análogo al de las mariposas, aunque en este caso la larva no necesita hacer ningún capu-

llo puesto que la misma madera le da suficiente protección. El adulto necesita salir al exterior para cumplir su ciclo vital, para lo que hace un agujero en la superficie de la madera. Así, tanto la forma y tamaño de las larvas y sus galerías, heces, y agujeros de salida, sirven para identificar la especie, aunque el propio cuerpo de los adultos es la vía más rápida y segura, pues las larvas son más parecidas, especialmente dentro de un mismo género. En general, casi todas las larvas prefieren la madera de primavera; no obstante pueden llegar a dejarla prácticamente reducida a polvo, pues las puestas de huevos son bastante numerosas. Por otra parte, el ciclo vital del insecto depende de la especie y de las condiciones ambientales, pero suele ser de pocos meses, lo que indica que su potencial agresivo puede llegar a ser bastante rápido. Los géneros de coleópteros más frecuentes en la madera de edificación son las siguientes (**Fig. 3.2.A/1**):

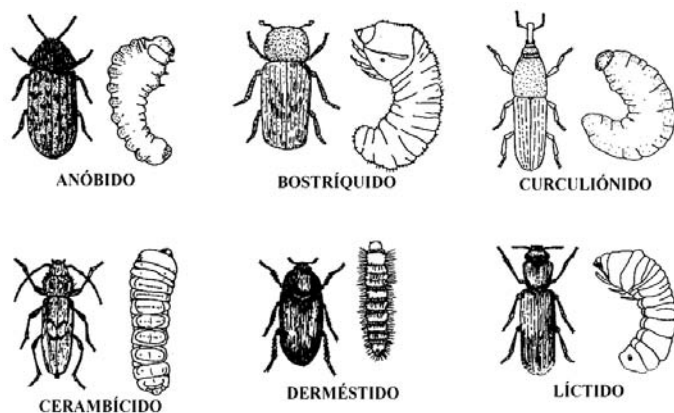


Fig. 3.2.A/1. Adultos y larvas de los principales géneros de coleópteros xilófagos (sin escala relativa)

- * **Anóbidos:** como las *carcomas*.
 - * **Bostríquidos:** como los *barrenillos*.
 - * **Cerambícidos:** como los *longicornios*.
 - * **Curculiónidos:** como los *gorgojos*.
 - * **Escolítidos y platipódidos:** como los *escarabajos de ambrosía*.
 - * **Líctidos:** como la *polilla de la madera*.
 - * **Ptínidos:** como los *escarabajos araña*.
- Los **termes** son insectos sociales organizados en castas, que viven en colonias de miles de individuos, alrededor de una reina que únicamente se dedica a producir huevos. Pasan por una fase alada, en la que se trasladan

a los sitios de anidación, pero necesitan humedad para sus termiteros, y protección de la luz (especialmente de la solar), por lo que normalmente los termiteros se sitúan bajo tierra; no obstante, algunas veces se han instalado en el interior de gruesos muros de fábricas de tierra (*tapias*) o de mampostería poco cohesionada. Los termites se alimentan de la celulosa de la madera, pero no en la obra, sino en el termitero. Los termites obreros, protegidos por los soldados, se dedican a llevar al termitero pequeñas astillas de madera, siendo allí degradada para formar la pasta alimenticia de larvas y adultos. La madera atacada queda con aspecto hojaldrado porque generalmente recortan la madera de albura y primavera, que es la más rica en celulosa (**Fig 3.2.A/2 y 3**). Como anidan en tierra, las primeras piezas atacadas son siempre las colocadas en las plantas bajas, es decir que si encontramos termites en una segunda planta es fácil suponer que también habrán pasado por las inferiores. También es frecuente que construyan galerías, parecidas a regueros de barro huecos, con un diámetro del orden de 1 cm, construidos con una mezcla de saliva y barro o heces, protegiéndose así para poder pasar por sitios descubiertos; a veces esta mezcla, con aspecto de barro arenoso, puede encontrarse entre los restos de la madera, en el interior de sus galerías. Asimismo es muy frecuente que su ataque aparezca asociado al de algunos hongos que, debilitando a la celulosa, facilitan la acción termítica.

* Las especies más habituales son el *reticulitermes lucifugus* y el *kaloterms brevis*.



Fig. 3.2.A/2. Madera atacada por termites. La madera con menor cantidad de celulosa, como la de verano y los nudos, permanece, mientras que la madera de primavera ha desaparecido. En algunas galerías se observan restos arenosos o de barro



Fig. 3.2.A/3. Madera atacada por termes. La desaparición de la madera de primavera deja a la pieza con un aspecto hojaldrado muy característico. Obsérvense los pequeños agujeros que comunican transversalmente unas galerías con otras

B.—Los **agentes físico-mecánicos** son prácticamente los mismos que en cualquier otro sistema estructural, y se definen en el *CTE DB SE-AE, Seguridad Estructural: Acciones en la Edificación*. No obstante, deben tenerse también en cuenta los posibles empujes de las piezas de madera cuando absorben humedad y se entumescen, o los esfuerzos derivados de las deformaciones (abarquillados, revirados, etc.) que sufre la madera al secar. Asimismo, en edificios antiguos, suelen ser fuente de problemas las **sobrecargas** de forjados, que pueden llevar a fallos por cortante (en empotramientos) y por flexión. Asimismo es habitual encontrar piezas sobre las que se concentran esfuerzos excesivos, como es el caso de brochales, zonas modificadas con apertura de huecos o sobrecargas de nuevos cerramientos diferentes a los de plantas inferiores, etc.

C.—En el caso de la madera, los dos agentes físicos más importantes, el agua y el fuego, deben tratarse más propiamente como **agentes físico-químicos** debido a sus propios mecanismos de actuación.

– La acción del **agua**, directa e indirectamente, es una de las más peligrosas para la madera; además, su presencia obligada en todos los edificios hace que, tarde o temprano, raramente haya un edificio con entramados de madera que no la tenga que sufrir. En edificios antiguos no es equivocado suponer que los elementos de madera próximos a los cuartos o zonas húmedas del edificio sufren problemas de pudrición. En cualquier caso, la acción del agua se centra principalmente en dos aspectos:

- Constitución de un ambiente adecuado para el **biodeterioro**.
- Y **movilidad** higroscópica de la madera con fenómenos alternos y cíclicos de entumecimiento y merma.

– También la acción del **fuego** es muy peligrosa para la madera¹³, aunque afortunadamente los incendios son excepcionales. La madera es un material combustible, tanto más, entre otras cosas, cuanto menores sean su densidad y grado de humedad; sin embargo apenas sufre variaciones dimensionales, y la carbonización de las capas externas a la que sufre la pirólisis aísla a esta del oxígeno, y de la temperatura al interior de la pieza, que puede seguir cumpliendo su función portante durante el tiempo que mantenga área resistente suficiente, en función de las secciones o escuadrías afectadas. Por ello, la estrategia más elemental para proteger a un edificio con estructura de madera de la acción del fuego, es sobredimensionar las piezas respecto a las secciones mínimas estrictas para sus necesidades mecánicas. El segundo paso en esta estrategia *pasiva* es la de optimizar la relación perímetro/sección, eligiendo la más baja posible, es decir utilizar preferentemente piezas *cuadradas* y *gruesas* antes que *rectangulares* y *delgadas*. Sin embargo el comportamiento de la madera ante el fuego también depende de otras muchas circunstancias, entre ellas las siguientes:

- La especie, siendo peor en las de poros gruesos y dispersos.
- El estado de conservación, siendo peor en maderas envejecidas, agrietadas o infectadas.
- La relación superficie/volumen de la pieza, siendo peor cuanto más alta sea ésta.
- La posición espacial, siendo peor la horizontal superior que la vertical, y ésta que la horizontal inferior.
- El poder calorífico de la especie de madera. En conjunto, es de unas 2800~5000 kcal/kg, con punto de inflamación del orden de 250~300 °C, aunque antes tiene dos procesos endotérmicos que frenan el incremento de temperatura, y que corresponden a la pérdida del agua libre y a la de cristalización. La velocidad de combustión, en función del tipo de madera, estado, cara y posición de la pieza, es del orden de 0,5~1,2 mm/min en superficies planas, aunque las esquinas se degradan más rápidamente: en las maderas estructurales de coníferas suele tomarse¹⁴ $\beta_n = 0,7\sim 0,8$ mm/min, en las de frondosas $\beta_n = 0,55\sim 0,70$ mm/min y en tableros derivados de madera $\beta_n = 0,9\sim 1,0$ mm/min. Un forjado tradicional de madera de pino, con relleno de yesones, puede tener una resistencia al fuego real superior a 2 h.
- Cuando la combustión es incompleta, normalmente por falta de oxígeno suficiente, la combustión puede continuar lentamente y sin llama, deshi-

13. Una descripción más detallada de este tema puede encontrarse en JIMÉNEZ PERIS y MARTÍNEZ GARCÍA (1988): «La madera y su comportamiento ante el fuego», en *Curso de construcción en madera. Estructuras mixtas, rehabilitación y carpintería*, COAM, Madrid, 1989, pgs. 117~203. Asimismo, desde un punto de vista más tecnológico, puede consultarse, especialmente de cara a la prevención, el CTE DB SI-6, Anejo S1-E, *Resistencia al fuego de las estructuras de madera*.

14. Ver CTE DB SI-6 Anejo S1-E, tabla E1.

dratándose la celulosa y formando carbón (*vegetal*). Esta situación se da con frecuencia en elementos de madera ocultos, y es muy peligrosa porque permite la permanencia larvada de un incendio y su reanudación posterior.

D.—En condiciones normales la madera no suele estar en contacto con **agentes químicos**, aunque excepcionalmente puede sufrir el ataque de algún producto de esta naturaleza, reaccionando según sea esta. No obstante, aunque no en maderas estructurales, es relativamente frecuente encontrar tarimas antiguas con ligeros ataques alcalinos provocados por lavados domésticos con lejías, aunque hayan estado diluidas, debido a su frecuente repetición periódica.

3. DEFECTOS, LIMITACIONES, Y MALFORMACIONES DE LOS MATERIALES

Recogemos en este apartado las posibles causas de los problemas patológicos achacables a la madera, como material de construcción, que es prácticamente el único relevante en los sistemas constructivos a los que nos estamos refiriendo en este capítulo, aunque en algún caso es posible que tuviéramos que entretenernos en analizar los posibles defectos de otros materiales, como elementos de conexión, protectores, etc.

Para la calificación de la madera hay que tener en cuenta que es un material natural que no puede cumplir las condiciones de regularidad que son normales en los productos industriales, a pesar de los avances en la explotación forestal y los procesos de selección y transformación de la madera¹⁵. Esta situación es todavía más evidente en edificaciones antiguas, construidas sin ninguna normativa ni criterios específicos de control de calidad, y con la frecuente reutilización de materiales procedentes de derribos. Es por esto por lo que, estrictamente, difícilmente se puede hablar de *defectos* en la madera, pues la Naturaleza es como es. En este caso, cuando la madera no responde a las condiciones *típicas* de su clase, resulta más adecuado hablar de *malformaciones*, aparte de las limitaciones intrínsecas que tiene el material por sus propiedades naturales¹⁶. Las más importantes, en cualquier caso, son las siguientes:

A.—Formales

— Las piezas de madera pueden presentar deformaciones y faltas previas a su puesta en obra, derivadas habitualmente de los procesos de corte y secado sufridos en las serrerías y secaderos. Así, los alabeos, fendas, revirados, etc., afectan a las secciones resistentes y merman la capacidad mecánica de las

15. En maderas de obra nueva deben utilizarse las especificaciones del *CTE DB SE-M* y los criterios de calificación y selección recogidos en las normas UNE vigentes, pero es dudoso que puedan aplicarse sin un amplio e indeterminado margen de imprecisión a la madera antigua en servicio.

16. En este sentido, la normativa UNE actual tampoco usa ya el término *defecto*, sino *singularidad*. Sin embargo, el carácter negativo de estas, al menos en patología, nos hace preferir mantener el término *malformación*, aunque también hay que tener claro que no todas las *singularidades* son *malformaciones*, como por ejemplo los nudos.

piezas de igual forma a cuando estos procesos suceden con la madera en servicio, salvo que en este caso se puede evitar su colocación en obra, o tomar las precauciones correspondientes al estado y función de la pieza.

- También las dimensiones insuficientes son frecuente causa de incapacidad o deficiencia en la correspondiente prestación funcional, tanto desde el punto de vista mecánico como de resistencia contra el fuego.

B.-Sustanciales, de la madera

- Entre las limitaciones intrínsecas de la madera ya se han citado las siguientes: biodeteriorabilidad, combustibilidad, deformabilidad por aplastamiento ante cargas transversales, degradación y envejecimiento por exposición a los meteoros, dispersión de propiedades y características, hendibilidad o rajabilidad, fluencia bajo carga constante, higroscopicidad e higromovilidad, etc.
- Entre las malformaciones más relevantes podemos citar los defectos de crecimiento (fibra torcida, nudos, etc.), aunque también es importante el estado de la madera antes de su puesta en obra en cuanto hace especial referencia a su humedad y posibles infecciones de origen.

4. DEFECTOS DE LA DISPOSICIÓN CONSTRUCTIVA

Aparte de las acciones abusivas o excesivas, y de las propiedades de los materiales defectuosas, el tercer grupo de posibles causas de un determinado problema patológico es el de los defectos de la disposición constructiva, pues es perfectamente posible que con los mejores materiales se ejecute una mala construcción. En este caso, los defectos constructivos pueden deberse a una inadecuada relación entre los elementos del sistema estructural (el entramado de madera), o bien a la mala integración del sistema estructural con el resto del edificio.

A.-Defectos de *relación interna* (*intrarrelación*) de los elementos del sistema

- En **apoyos**, los casos más frecuentes son:

- **Pies derechos** con el arranque sobre basas que quedan enterradas, o rodeadas de materiales absorbentes por los que el agua puede llegar a la madera, y apoyo en plantas superiores sobre carreras aplastables¹⁷.
- Ausencia de zapatas en los apoyos de las **carreras** sobre pies derechos¹⁸.
- En **cubiertas**, la falta de arriostamiento, es decir la ausencia de rigidización lateral y transversal frente a los esfuerzos horizontales de cubierta (viento), pues los nudos difícilmente trabajan a tracción, o la falta de contención de los empujes de los pares.

17. Lo que sucede con más facilidad cuando la carrera recibe la carga del pie derecho en dirección radial.

18. La zapata, al ser una pieza más pequeña y controlable, aparte de reducir la luz de la carrera puede seleccionarse para ser dispuesta de forma que reciba la carga vertical en dirección tangencial, o bien para utilizar una madera de duramen o con el corazón centrado.

- En **escaleras**, la forma de apoyo suele ser problemática, por la semiarticulación de las uniones entre zancas, la falta de apoyos interiores (en el ojo de la escalera) con vuelos o anchos de tiro excesivos, etc.
 - Y en general, otros apoyo puntuales capaces de transmitir cargas elevadas y concentradas a otros elementos del entramado.
- En el **cuajado** de fábrica, pueden resultar inadecuadas las siguientes disposiciones constructivas:
- Relleno de cuarteles con fábricas demasiado rígidas o frágiles respecto a la madera, lo que lleva al cuajado a asumir cargas originalmente imprevistas. A esta situación se suele añadir que:

* Las tensiones y deformaciones de la fábrica son heterogéneas, debido a que esta lo es, no solo en cada cuartel, sino de unos a otros. En un mismo edificio es frecuente encontrar paños de ladrillo junto a otros de mampostería, tapia, yesones, etc. (**Fig. 3.4.A/1**)

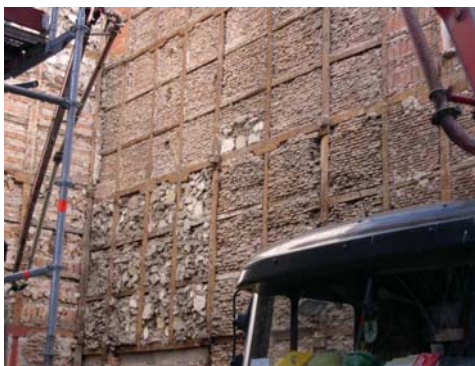


Fig. 3.4.A/1. En un mismo telar es frecuente encontrar diferentes tipos de fábricas. En este caso, mampostería, ladrillo por canto y por tabla, y yesones. Cada una con sus propias e independientes características mecánicas

- * La resistencia de la fábrica es muy baja por sus propios materiales y falta de cohesión.
 - El uso de materiales muy porosos e higroscópicos, especialmente yeso, que mantienen la persistencia de las condiciones de humedad desfavorables para la madera.
- En los **nudos** y uniones (empalmes y ensambles) se pueden encontrar deficiencias como:

- Mala disposición de clavos o tornillos¹⁹, por ejemplo, debido a:
 - * Colocación en dirección tangencial o longitudinal, pues para conseguir la mejor adherencia y evitar las rajaduras, deben colocarse en dirección radial y, preferentemente, en zonas comprimidas.
 - * Colocación alineada y seguida, y peor si los clavos o tornillos penetran en dirección tangencial, pues pueden inducir que la pieza se raje y parta en dos. Para evitarlo deben colocarse al tresbolillo y, como acabamos de ver, en dirección radial.
 - * Anclaje en zonas debilitadas, deterioradas, o traccionadas.
- Ensamblado de piezas a *contraveta*, con colocación en sentido equivocado, sin tener en cuenta el proceso de deformación higrométrica natural que van a sufrir las piezas.
 - * Corte y ensamble de piezas que hace posible su dislocación, raja, etc. Esta situación es frecuente en el embarbillado de pares, en uniones con bridas o elementos metálicos que concentran los esfuerzos en pasadores de los que depende el monolitismo o estabilidad del sistema, con riesgo de rasgado, en talones de nudos ensamblados que presentan fendas u otros daños que ponen en peligro la absorción de esfuerzos y, en general, en nudos sometidos a esfuerzos laterales o transversales que no se han considerado (**Fig. 3.4.A/2**).



Fig. 3.4.A/2. El embarbillado de este jabalcón, y la poca resistencia de la madera a su hienda, reducen significativamente la funcionalidad de la pieza y ponen en duda su eficacia

- En los **paños**, los defectos más habituales son:
 - Diferencias de alineación y verticalidad entre los pies derechos de plantas sucesivas.

19. El uso de *espigas*, al taladrar la madera, evita la aparición de rajaduras; asimismo, el *truco* de despuntar los clavos, hace que éstos, al introducirse, aplasten las fibras de la madera en lugar de rasgarlas y separarlas, lo que también reduce el riesgo de hienda.

- Uso de cuajados débiles o incoherentes.
- Discontinuidades y falta de trabazón en los encuentros de muros, especialmente entre el muro de fachada y los medianeros u otros transversales (Fig. 3.4.A/3).



Fig. 3.4.A/3. El enjarje o trabazón entre muros de fachada y medianero únicamente se confía al apoyo de la carrera del muro medianero en la de la fachada

- Pandeo de elementos esbeltos que, por el propio sistema constructivo, se arriostran en el plano del muro mediante el cuajado de cuarteles y los puentes, pero no en dirección transversal.

B.—En cuanto a los posibles defectos de *relación externa* (*interrelación*) con otros sistemas o elementos constructivos ajenos, podemos señalar como más habituales los siguientes:

- Falta de protección de los elementos de madera contra el agua de las instalaciones, lluvia y humedad del suelo. Esta situación es más evidente en casos como:
 - Balcones con poca pendiente, o incluso contrapendiente.
 - Ausencia de barreras contra la humedad por capilaridad en arranque de muros y zócalos.
 - Cornijales de patios tapados por bajantes, lo que además de provocar su mojado en caso de fuga o rotura de la bajante, dificulta la aireación y secado del rincón, que mantiene mayor humedad que el resto de la pared.

- Cornisas e impostas que absorben agua por capilaridad externa (o superficial) y la trasladan hasta las carreras interiores.
 - Cubiertas y tejados con problemas de evacuación de agua, presencia de discontinuidades o mala ejecución de baberos o elementos de evacuación, que hacen posible la filtración de la lluvia. Es el caso de muchos canalones, chimeneas, limas, lucernarios, etc.
 - Dinteles de huecos de fachada empotrados y desprotegidos de la humedad capilar que provoca el mojado del paramento exterior por la lluvia.
 - Permeabilidad de pavimentos, especialmente en baños, cocinas, etc., pero también en el resto de la vivienda, en los que el agua de fregado penetra por las juntas entre baldosas.
 - Falta de enfundado y protección de instalaciones hidráulicas, especialmente de agua fría, cuya condensación superficial acaba afectando a los elementos de madera más próximos.
 - Puentes térmicos y elementos metálicos empotrados que pueden generar condensaciones intersticiales.
 - Disposición del tablero del tejado (*ripia*) con solape invertido, que si bien mejora el agarre de la teja, dificultando su deslizamiento, dirige directamente el agua de una posible filtración hacia el interior de la cubierta.
- Falta de protección contra el fuego, tanto en elementos exentos, como en chimeneas y conductos de humos que, en una buena práctica constructiva de época, se revestían con un grueso espesor de yeso, y se separaban mediante una cámara de los elementos de madera y particiones interiores.

IV. TÉCNICAS DE INSPECCIÓN Y CONTROL

1. INFORMACIÓN PREVIA

La visita de un edificio debe planificarse previamente sabiendo lo que nos interesa ver, así como para prever el instrumental que pudiéramos necesitar según los casos, y para elaborar las primeras hipótesis con las que dirigir la inspección. Para ello es útil recabar previamente la mayor información posible respecto a la situación y problemática patológica a resolver. Los datos más interesantes suelen ser los siguientes:

A.–Circunstancias ambientales, y condiciones de *servicio* o uso. Además del historial del edificio, reformas soportadas, usos actuales y anteriores, y otras circunstancias generales, nos interesa específicamente conocer:

- Los *niveles de riesgo biológico* conforme a la clasificación del CTE²⁰.
- Identificación de la *clase de duración de las acciones*, conforme al CTE²¹.
- Identificación de la *clase de servicio* conforme al CTE²².

B.–Características constructivas de la zona afectada y disponibilidad de planos del edificio, actuales y anteriores.

2. EN OBRA

La inspección y toma de datos se debe documentar con los correspondientes registros, especialmente croquis o dibujos, fotografías y notas en general, trasladándose posteriormente a la correspondiente *cartografía temática*.

A.–La inspección se guía por las hipótesis previas establecidas en función de la información que anteriormente hayamos podido recabar, y se dirige principalmente a su verificación, sin olvidar, nunca, hacer una inspección general que nos permita, en su caso, establecer nuevas hipótesis alternativas. En cualquier caso la inspección se dirige preferentemente a los *puntos neurálgicos* del entramado de madera, prestando también especial atención a la posible continuidad de fisuras o grietas entre paredes o suelos, o a las que pudieran pasar de paredes a suelos o techos, lo que suele ser síntoma de movimientos generales de una cierta entidad e importancia. El estado de la madera oculta, en general, es una incógnita hasta que no se hacen calas: las grietas en las fábricas son engañosas, aunque las zonas húmedas tienen pudriciones en casi todos los casos, por lo que serán de inspección preferente todas las zonas en contacto con instalaciones y suelos, y las de difícil acceso, especialmente si son húmedas u oscuras, como desvanes bajo cubiertas y sótanos. Asimismo hay que intentar inspeccionar las dos caras de las viguetas de los forjados y de pies los derechos en fachadas. Las **zonas de riesgo** más habituales, prácticamente todas relacionadas con su mayor exposición a la humedad, son las siguientes:

- Antepechos de huecos.
- Arranques de pies derechos y zócalos del edificio.
- Balcones y dinteles de huecos de fachada.
- Bordes de cubierta. Canalones y aleros.
- Centro superior de forjados flechados.
- Encuentros de faldones de cubierta con paños verticales.

20. Art. 3.2.1.2 del DB SE-M. En esta apartado, las especificaciones del CTE coinciden con las del Eurocódigo 5. Asimismo las clases de riesgo se definen de forma similar en las normas UNE-EN 460:1995 y UNE-EN 335-1:2007.

21. Art. 2.2.2.1 del CTE DB SE-M.

22. Art. 2.2.2.2 del DB SE-M. En esta apartado, las especificaciones del CTE coinciden con las del art. 2.3.1.3 del Eurocódigo 5, aunque en la norma UNE-EN 335-1:2007 aparecen un poco más detallados y se designan como *clases de uso* (apdo. 3 y tabla 1).

- Forjados de baños y cocinas.
- Locales húmedos.
- Paños y tableros de cubierta.
- Zonas de paso de instalaciones húmedas.
- Zonas ocultas y mal ventiladas de la madera. Cornijales de patios, parte superior de viguetas y parte interior de pies derechos y carreras.
- Cualquier otras zonas visiblemente alteradas (agujeros, alabeos, grietas, manchas marrones, olor a humedad o moho, etc.).

B.–Detección e identificación de **agentes** de deterioro. Debemos verificar o completar la información respecto a la realidad de las circunstancias ambientales supuestas previamente (4.1.A). Para ello debemos tomar datos o decidir actuaciones respecto a las siguientes cuestiones:

– Análisis **ambiental**

- Acciones, estados de carga y permanencia o duración de las cargas, y niveles de riesgo biológico, y tipo de ambiente y clase de servicio, conforme a las clasificaciones normalizadas (ver 4.1.A).
 - Humedad y temperatura ambiente, mediante lecturas o registros con termohigrómetro, termohigrografos, o *data loggers*.
- Identificación de organismos **xilófagos**. Podemos utilizar diferentes técnicas y herramientas, como:
- Detección acústica de larvas activas, que hacen ruido al roer la madera. Puede utilizarse un fonendoscopio o un vaso invertido, aunque existen sistemas más precisos y específicos como el *Termite*²³ y el *Teriatracc*. También existen equipos de ultrasonidos que asimismo sirven para detectar cambios de densidad, galerías y oquedades²⁴.
 - Inspección visual directa, con ayuda de herramientas como cámara fotográfica o vídeo, endoscopio, mediante taladros del orden de 1 cm de diámetro, escoplo, lupa, punzón, etc. La identificación de xilófagos se hace por los patrones de degradación específicos de las diferentes especies:

* En el caso de insectos, por individuos adultos, larvas, perforaciones superficiales, polvo interior, etc. (**Fig. 4.2.B/1 a 5**). En el caso específico de termites suele ocurrir que en primavera emigran los insectos alados para establecer una nueva colonia, dirigiéndose (desde el interior del edificio) hacia las aberturas (luminosas), pudiendo chocar contra las ventanas y quedar atrapadas dentro del edificio.

23. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (www.fcba.fr).

24. La empresa TECMA ha desarrollado un detector específico para este tipo de diagnóstico.



Fig. 4.2.B/1. Las larvas y las pupas permiten identificar, al menos, el género del insecto (cerambícido *Hylotrupes Bajulus* en este caso)



Fig. 4.2.B/2. La identificación más segura es a través de los insectos adultos (hembra de *Hylotrupes Bajulus* en este caso)



Fig. 4.2.B/3. Junto los restos de madera es frecuente encontrar resto de adultos. Un cuerpo, o alguna parte suficiente de él, permite su identificación prácticamente igual que si el insecto estuviera íntegro (curculiónido, en este caso)



Fig. 4.2.B/4. El serrín que queda en el interior de la madera también puede servir para discriminar unas especies de otras (de curculónido, en este caso)



Fig. 4.2.B/5. Los restos de serrín y heces pueden ser característicos de la especie (lucánido, en este caso)

* En el caso de los hongos, se observan las manchas de humedad y fúngicas, su color y olor, y la presencia de cuerpos de fructificación o tejidos micóticos. Una identificación precisa puede requerir un análisis biológico especializado.

C.-Estado y propiedades o características constructivas del edificio y, especialmente, de las zonas afectadas. Pueden llevarse a cabo las siguientes actuaciones:

- **Calas** en puntos neurálgicos o, al menos, percusión manual o instrumental o taladros de prospección.
 - En cuanto a las características constructivas interesa determinar las deformaciones, desplazamientos, dimensiones, estado, materiales y resto de circunstancias constructivas relevantes de los elementos estructurales. Puede ser interesante tomar **muestras** para determinar la edad, el tipo de madera y su estado y características (densidad, humedad, resistencia, etc.).
 - La percusión manual nos da una idea comparativa bastante clara de las diferencias de densidad, y posible resistencia, de piezas similares o de diferentes zonas de una misma pieza. Lo mismo, con mayor precisión, puede hacerse a través de instrumental como, por ejemplo, equipos de ultrasonidos.
 - Los taladros de prospección permiten observar el serrín y la resistencia de la madera. Son baratos, fáciles, y rápidos de hacer, y deben alcanzar todo el espesor de la pieza, hasta las caras ocultas, aunque se atraviesen zonas sanas y precisamente porque suele ser el mejor medio para valorar la situación de las partes ocultas.
- **Identificación** macroscópica de especies y propiedades generales, como dirección de fibra, presencia de fendas, nudos, etc.
- **Pruebas** funcionales, como:
 - Durabilidad natural y resistencia a hongos e insectos xilófagos, conforme indicaciones de la norma UNE-EN 350-1.
 - Humedad superficial e interior de la madera mediante higrómetro²⁵ o humidímetro, xilohigrógrafo o xilohigrómetro. Para un estudio más completo podría ser conveniente analizar 5 secciones de cada pieza (extremos, cuartos y centro).
 - Pruebas de carga, en piezas aisladas o en forjados. Pueden seguirse las indicaciones de la norma UNE 7457:1986²⁶.

25. Puede utilizarse, por ejemplo, el procedimiento de la norma UNE 56530:1977 *Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del contenido de humedad mediante higrómetro de resistencia*.

26. AENOR CTN-41 (1986): Realización de ensayos estáticos de puesta en carga sobre estructuras de piso en edificación.

- Resistencia y resto de características mecánicas de la madera, como:

- * Dureza superficial estática, normalmente mediante durómetros portátiles Brinell, Shore, etc.

- * Dureza superficial dinámica, o esclerometría, para estimar la resistencia a compresión y densidad, por ejemplo con el Pylodin (**Fig. 4.2.B/6**).



Fig. 4.2.B/6. Esclerómetro Pylodin (Sommer & Runge/Petrotest Instruments GmbH)

- * Resistencia a la perforación, mediante resistógrafos de taladro²⁷, o broca dinamométrica.

- * Transmisión de ultrasonidos, para estimar valores de compacidad o densidad, resistencia o módulos de elasticidad, por ejemplo con equipos tipo Sylvatest (**Fig. 4.2.B/7**). En coníferas, pueden tomarse como valores indicativos los siguientes:



Fig. 4.2.B/7. Sylvatest Duo (Concept Bois Technologie)

27. V. gr. Resistograph, de Instrumenta Mechanik Labor GMBH.

- C14~16: 4100~4900 m/s
- C18: 4900~5100 m/s
- C22: 5100~5400 m/s

* Vibraciones inducidas, con iguales objetivos a los de los ultrasonidos, con martilleo mecánico (tipo Fakopp) (**Fig. 4.2.B/8**).

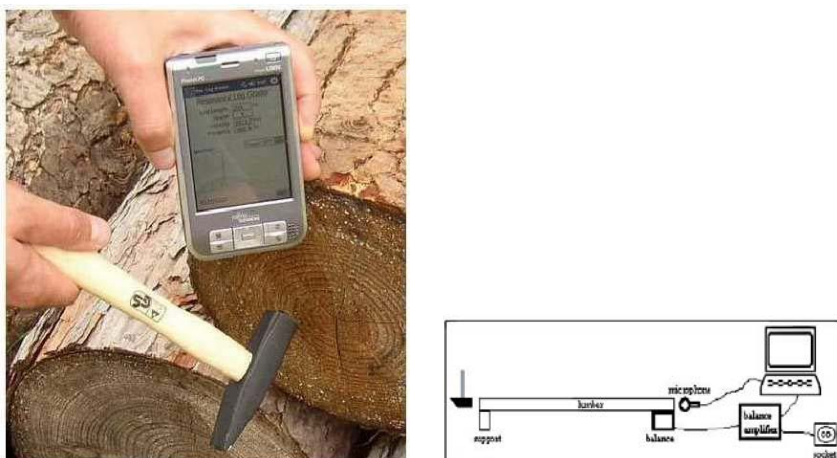


Fig. 4.2.B/8. *Resonance Log Grader (RGL) de Fakopp Enterprise Bt*

3. EN LABORATORIO

Los análisis y ensayos o pruebas de laboratorio forman un amplio conjunto de técnicas experimentales que nos pueden aportar información valiosa respecto a las características y propiedades de la madera. No obstante debe tenerse en cuenta que, por un lado, nunca en un laboratorio pueden reproducirse totalmente las situaciones reales y, por otro, que la representatividad de las muestras depende, entre otras cosas, de su número y procedencia. Por ello los resultados de laboratorio deben interpretarse en función de estas circunstancias y aplicarse con cierta prudencia. En cualquier caso la gama actualizada de normas de ensayo disponibles puede consultarse en la página de Internet de AENOR²⁸, *AEN/CTN 56 Madera y corcho*. No obstante damos a continuación algunas indicaciones sobre los posibles trabajos de laboratorio.

La extracción de **muestras** debe hacerse de forma que se garantice la representatividad de la muestra, especialmente si lo que pretendemos es disponer de una imagen del estado de la globalidad del edificio, en cuyo caso deberemos estudiar detenidamente el plan de muestreo, dividiendo el edificio en *unidades de inspección*

28. Asociación Española de Normalización y Certificación (www.aenor.es).

de las que extraer las correspondientes muestras, proceder a un muestreo aleatorio con un número de muestras relativamente amplio, y fijar los criterios o variables de aceptación o rechazo, para lo que pueden utilizarse las normas de muestreo derivadas del Comité Técnico de Certificación de AENOR AEN/CTN-66, *Calidad y Conformidad*. No obstante, el mayor problema reside en delimitar la extensión y unidades de medida que pueden utilizarse para fijar *de qué y de cuánto* es representativa una determinada muestra para lo que, desafortunadamente, solo se cuenta con la experiencia, la intuición y la prudencia. El tamaño de las muestras es del siguiente orden de magnitud:

– Para análisis y ensayos biológicos pueden valer muestras de madera con dimensión de pocos centímetros, y cualquier forma, aunque en el caso de insectos al menos una de las dimensiones debería ser del orden de unos 20 cm; para el caso de hongos valen muestras más pequeñas puesto que una de las observaciones principales es microscópica.

– Para análisis y ensayos físicos, según los ensayos, no se necesitan muestras muy grandes: su tamaño mínimo puede ser del orden de 2~3 cm.

– Para ensayos mecánicos, según el ensayo, pueden necesitarse piezas de tamaño desde mediano a grande, con un mínimo de unos 5 cm.

A.–Análisis e identificación de especies

– La identificación de **hongos**, de no disponerse de los cuerpos de fructificación, suele hacerse mediante la observación microscópica de los tejidos micóticos y de las esporas que, ocasionalmente, pudieran encontrarse en la madera.

– El laboratorio puede ayudar en la identificación de **insectos** por varias vías, principalmente mediante el cultivo de las larvas vivas, si se encontraran en la madera, y por otro mediante el análisis detallado de las heces y restos de madera, entre los que es frecuente encontrar restos de adultos que pueden ser suficientes para su identificación. No obstante la identificación de las especies de insectos, al contrario que la de hongos, puede ser realizada fácilmente en obra en muchos casos.

– La identificación precisa de la especie de **madera** requiere, como en el caso de los hongos, el análisis microscópico, aunque la mayor parte de las veces suele ser suficiente la visión directa de la madera limpia o cepillada, más teniendo en cuenta que las maderas de construcción de una misma zona recogen un número muy reducido de especies y, habitualmente, solo una. Aparte de esto también es posible intentar la datación de la madera mediante C14 o dendrocronología.

– La identificación de **otros** posibles organismos, como algas, bacterias, moluscos, etc., sigue las pautas indicadas para hongos e insectos.

B.–Ensayos y pruebas

– Las **características mecánicas** que se ensayan se eligen, normalmente, para determinar la capacidad mecánica residual de las piezas o condiciones de seguridad estructural, según los defectos o lesiones que presente. A este respecto, se

intenta asignar la madera del edificio a alguna de las clases resistentes que utiliza el CTE DB SE-M, aunque, como dijimos, es difícil ajustar adecuadamente la normativa actual a la situación de un edificio construido hace muchos años bajo planteamientos muy diferentes a los actuales y que, además presenta una evolución que genera un gran número de indeterminaciones. No obstante, pueden determinarse características mecánicas como las siguientes:

- Módulos de elasticidad y resistencias a compresión longitudinal (paralela a la fibra), radial y transversal (perpendiculares a la fibra).
- Módulo de rigidez y resistencia a cortante longitudinal.
- Resistencia a flexión.
- Dureza.

– Las características y **propiedades físicas** más habitualmente determinadas en laboratorio son las siguientes:

- Densidad aparente
- Higroscopicidad, hinchazón y merma
- Humedad natural

– En cuanto a la **durabilidad** de la madera, los ensayos habituales son:

- Comportamiento al fuego y combustibilidad.
- Resistencia a hongos e insectos xilófagos Durabilidad natural, conforme indicaciones de UNE-EN 350-1.

4. OFICINA TÉCNICA. PERITACIÓN Y COMPROBACIÓN

A.–Las **condiciones mecánicas** de estabilidad, resistencia y rigidez mecánica pueden analizarse conforme a la bibliografía especializada²⁹ o conforme a la normativa vigente, según *Eurocódigos 0* (Bases de cálculo), *1* (Acciones), *5* (Estructuras de Madera) y, en su caso, el *6* (Estructuras de Fábrica), o *CTE DB SE-M, Seguridad Estructural: Madera*, y *DB SI, Seguridad en caso de incendio* y, opcionalmente, el *CTE DB SE-F, Seguridad Estructural: Fábrica*. No obstante debe tenerse en cuenta que la madera lesionada difícilmente entra en los cálculos desarrollados a partir de planteamientos teóricos basados en el comportamiento elástico del material. En cualquier caso debe tenerse en cuenta que:

– La madera en rollo aguanta más que la escuadrada, debido a que no se cortan sus fibras.

– La escuadría real, en relación con las fendas, no es la aparente.

29. Por ejemplo, pueden consultarse las referencias citadas al final del capítulo, entre ellas las obras de los profesores ARGÜELLES y ARRIAGA (1988), y ÁVILA (2003).

B.—En el caso de comprobación de las condiciones de **protección contra incendio**, se pueden seguir las indicaciones del *CTE DB SI-6, Resistencia al fuego de la estructura* y, especialmente, su *Anejo SI E, Resistencia al fuego de las estructuras de madera*. En cualquier caso, el criterio general es el sobredimensionado respecto al estricto mecánico, contando con una velocidad de combustión del orden de 0,7~0,8 mm/min en las caras al aire o expuestas al fuego.

— Por ejemplo, para un forjado tradicional con viguetas de unos 22 cm de canto puede adoptarse una RF-120.

V. ACTUACIONES DE REFUERZO Y REPARACIÓN

Es posible utilizar un amplio conjunto de estrategias de intervención aunque en todas ellas, además de las razones puramente técnicas, deben tenerse en cuenta los factores derivados de la naturaleza patrimonial del edificio. Además, y con carácter general hay que tener en cuenta que una vez que la madera se pone al descubierto para cualquier intervención, debe aprovecharse la situación para proteger preventivamente la madera que se conserve frente a la humedad y los xilófagos, y que en caso de utilizar elementos de acero, igualmente debe asegurarse de su perfecta protección frente a la humedad y frente a la acidez de algunas maderas (*v. gr.* roble), así como de su accesibilidad para su periódica inspección y mantenimiento. Asimismo, y como criterios generales en cualquier reparación, hay que ser especialmente cuidadoso con los siguientes aspectos:

— Durante las operaciones de demolición, desmontaje, e introducción de nuevos elementos, hay que evitar transmitir nuevas vibraciones y deformaciones en el edificio.

— Hay que garantizar la transmisión de cargas de los elementos originales a los nuevos, y de estos nuevamente a los que permanecen sin intervención.

— La intervención debe ser la menor compatible con la recuperación de la funcionalidad mínima exigible.

— En el caso de utilizar elementos de acero con uniones soldadas, refrigerar constantemente la madera, con agua, y tener a mano un extintor de incendios. Estar especialmente atento a la posible combustión incompleta y sin llama.

Resumimos a continuación las principales estrategias de intervención.

1. ELIMINACIÓN DE RIESGOS Y ESTABILIZACIÓN

Esta estrategia de actuación es la primera que se plantea, en función de la necesidad y urgencia que pudieran presentarse para garantizar la seguridad del edificio o de alguna de sus partes. Se dirige a eliminar, o reducir significativamente, los riesgos que todo estado patológico implica y, especialmente, a contener y parar el posible aumento de las deformaciones del edificio, especialmente desplazamien-

tos, desplomes y flechas. En general, y por sus propias circunstancias de rapidez de ejecución, estas intervenciones son de carácter provisional, aunque en su ejecución hay que considerar la posibilidad de que su permanencia se alargue indefinidamente, y de que en ningún caso deben impedir las actuaciones definitivas posteriores como por ejemplo, evitar apeo de forma que el apeo obstaculice el acceso a los elementos sobre los que haya que intervenir posteriormente, lo que obligaría a tener que desmontar el apeo y a volver a montar otro, con la consecuente repercusión en la seguridad del edificio y en el coste de la reparación.

A.-Provisionales

– En primera instancia se procura limitar o reducir el valor de las **acciones**, o la presencia de agentes, que afectan negativamente a la situación. Las decisiones a tomar, lógicamente, dependen de esta, pero van desde la protección provisional, como canalización provisional de bajantes con mangueras de pocero, colocación de lonas en cubiertas, obturación de roturas con espumas impermeables o manguitos, demoliciones preventivas, etc., hasta las limitaciones de uso o, incluso, el desalojo del edificio o zonas afectadas.

– De forma complementaria o suplementaria se interviene para detener, limitar o reducir el incremento de las **deformaciones**. En este caso la solución habitual es la disposición de *apeos preventivos* (**Fig. 5.1.A/1**). Lo normal es utilizar el mayor número posible de elementos de madera, aunque si el apeo debe hacerse con rapidez, y va a ser relativamente breve, suelen utilizarse puntales telescópicos de acero y durmientes y sopandas de madera. No hay lugar aquí para tratar suficientemente este tema, por lo que remitimos a la bibliografía especializada³⁰.



Fig. 5.1.A/1. Apeo de fachada rigidizando los huecos con *cruces de S. Andrés* y marcos, con tablonés

30. Un conjunto de criterios generales para el diseño y ejecución de los apeos puede encontrarse en ABÁSULO (1996), aunque probablemente el mejor manual para la realización de este tipo de intervenciones, con un criterio más tecnológico, es el elaborado por ESPASANDÍN y GARCÍA CASAS (2002).

- Únicamente y para el caso más frecuente de apeo de **forjados** se debe recordar que hay que colocar dos filas de puntales cerca de los apoyos, mejor que uno en el centro de vano, que genera una situación inestable en caso de fallo (**Fig. 5.1.A/2**). En el caso de intervenir localmente en una sola planta, suele bastar apearse sobre una o dos plantas a lo sumo. Asimismo hay que tener en cuenta que generalmente los forjados interiores, aunque deteriorados, suelen estar más sobrados a cortante que a flexión, lo que no sucede en las crujías exteriores, donde las cabezas de las viguetas empotradas en fachada, en contacto con la lluvia, puede estar bastante perjudicado.



Fig. 5.1.A/2. Apeo de viguetas con dos *líneas* cercanas a cada uno de sus dos apoyos

B.—Cualquiera de las dos estrategias anteriores puede plantearse igualmente para quedar **definitiva**, en cuyo caso se resuelven convenientemente el aspecto y los detalles constructivos. Entre estas, las soluciones más frecuentes son:

- El apeo de forjados con vigas cruzadas o *cortaluces*, que se describe más adelante.
- La fijación y rigidización de nudos mediante chapas, conectores, pasadores, rigidizadores, o elementos análogos.

2. CONSOLIDACIÓN

Esta estrategia de reparación busca recuperar la capacidad de respuesta mecánica y las prestaciones originales de los elementos de la estructura de madera. Salvo intervenciones muy localizadas y de poca extensión es una estrategia de difícil desarrollo por su laboriosidad y coste, salvo que, por razones de interés patrimonial u otras, sea necesario conservar el elemento afectado.

A.—La consolidación de **apoyos y nudos** estructurales puede hacerse con elementos internos u ocultos o con elementos vistos.

- Para la consolidación *interna* se utilizan dispositivos de *cosido*, como bulones, espigas, pasadores o pernos de acero o de fibra de vidrio en matriz de resina

(epoxi), etc. que funcionan por adherencia o presión según los casos, y que pueden requerir su actuación conjunta con un adhesivo o con una matriz de resina, alojados en la correspondiente caja o taladro.

– La consolidación *externa* se hace habitualmente con bridas, chapas de acero, o presillas sujetas con clavos, tornillos o pasadores. En el caso de usar clavos o tornillos roscados a la madera, debe tenerse en cuenta, como ya se dijo, la posibilidad de inducir el rasgado de la madera por la disposición de estos elementos.

B.–Para la consolidación del cuajado o elementos de las **fábricas** de albañilería se utilizan las soluciones típicas de este oficio, tal y como se explica en otras partes de este Tratado, a las que remitimos. En cualquier caso, y antes de cualquier intervención, debe analizarse no solo la situación mecánica del paño en el que se va intervenir, sino también el papel y relación de este con el conjunto del entramado, puesto que como se ha dicho, aunque originalmente pudiera servir principalmente como cerramiento, es posible que en el momento de la intervención cumpla una más importante función estructural.

C.–La consolidación de la **madera** puede hacerse, pero hay que tener en cuenta que, salvo pequeñas intervenciones, sirve más a efectos de su conservación formal y volumétrica que para la recuperación de las características mecánicas originales. En cualquier caso pueden utilizarse diferentes técnicas:

– **Inyección** de colas o resinas poco sensibles a las condiciones ambientales y de espesor, y sin retracción (*v. gr.* epoxi o poliéster).

– **Reintegración** plástica del volumen dañado o perdido con pastas especiales, normalmente resinas moldeables, que pueden adoptar la forma, y acercarse a la textura y tono del material original. La unión entre materiales aportado y original suele coserse o reforzarse con varillas de fibra de vidrio³¹ o similares. Es una opción apta para volúmenes relativamente pequeños, de no más de 50 cm de dimensión máxima.

– La **solidarización** de elementos desgajados, con fendas o rajados, puede hacerse directamente mediante encolado, aunque generalmente se ayuda o refuerza mediante algún tipo de conector interno, o mediante otros elementos externos.

- La solidarización *directa* se hace mediante encolado y **cosido** con elementos *internos*, como bulones, tirafondos, varilla roscada, etc., de acero o fibroplásticos encolados con epoxi. En el caso de vigas, los conectores se dimensionan y separan en función del esfuerzo rasante y de su inclinación, normalmente vertical, salvo que también se aprovechen para resistir cortantes, en cuyo caso pueden inclinarse. El **encolado** suele hacerse con resina epoxi semiviscosa³², aunque existe una relativamente amplia variedad de adhesivos estructurales.

31. Por ejemplo, productos de *Repair Care S.L.* (www.repaircare.es).

32. Por ejemplo, *Dry Flex SK* de *Repair Care Systems*.

- La solidarización reforzada con elementos *externos* se suele ayudar de bridas, chapas o perfiles de acero atornillados con bulones pasantes o con tirafondos, o bien con elementos de madera como tablones, encolados o no, apretados con bridas o con tornillos pasantes.

3. LIBERACIÓN

Estas estrategias de actuación se dirigen a eliminar, o reducir significativamente, y de forma permanente, las acciones o agentes que generan la situación patológica de la estructura, en lo que coincide con lo visto en 5.1.A. Para la definición concreta de los aspectos particulares de esta estrategia también pueden tenerse en cuenta las indicaciones que se dan más adelante en el apartado 6.

Medidas de Prevención. Las opciones de intervención más habituales de este grupo son:

A.—Apeos permanentes con los criterios generales expuestos en 5.1. Sin embargo, también disponemos de la alternativa del **desvío de cargas** mediante elementos estructurales o dispositivos que, superpuestos o separados de los originales, y con relativa independencia de estos, asumen toda o parte de la carga y la trasladan a los elementos que tengan la resistencia suficiente para ello. Aunque en el fondo ambas opciones persiguen lo mismo, la interacción de un sistema de *desvío de cargas* con los elementos originales es bastante menor que en el caso de un sistema de *apeo*. Por ejemplo, ya se ha visto que la introducción de una pareja de vigas ortogonales y por debajo de las viguetas de un formado, es un sistema de apeo permanente; por el contrario, la introducción de una viga paralela a las viguetas de un forjado, aprovechando el espacio de un entrevigado, para recoger una carga puntual, es una solución de desvío de carga, como también lo es un sistema de jabalco-nes y tirante (o acodalamiento) para descargar un pie derecho.

B.—Otra posible estrategia de intervención es la **descarga y eliminación directa de los elementos que ejercen la acción perjudicial, es decir su demolición definitiva, lo que suele ser el caso de eliminación de añadidos, cuajados excesivamente pesados, enseres almacenados³³, regruesos de revestimientos, pavimentos pesados, rellenos o soleras bajo pavimentos, etc.**

C.—La **deshumidificación es el caso particular de la estrategia anterior cuando la acción perjudicial la ejerce la humedad ambiental. Las técnicas de secado, ventilación o climatización destinadas a este fin se tratan en otra parte de este Tratado.**

D.—También las técnicas destinadas a la **eliminación de xilófagos son un caso particular, aunque suficientemente diferenciado, de la estrategia 5.3.B, cuando son estos organismos los causantes de la degradación de la madera. Las técnicas de desinfección (hongos) y desinsectación (insectos) son relativamente similares y, en**

33. El papel es uno de los casos más frecuentes.

muchos casos, se utilizan conjunta o indistintamente. Entre otras, pueden adoptarse algunas de las siguientes opciones³⁴:

– En piezas desmontables muy delicadas, como pudieran ser las piezas talladas o pintadas, y de relativamente poco volumen, puede utilizarse un desecado en estufa a baja temperatura y un choque térmico frío y en seco, mantenido unas doce horas una vez alcanzada la temperatura de consigna. También es posible hacer de forma análoga tratamientos con gases inertes o vacío. Igualmente lo es hacerlo con gases venenosos, pero su interacción con la pieza, especialmente si va revestida, es peligrosa, aparte de las dificultades inherentes a la manipulación de este tipo de productos por el personal que aplica el tratamiento.

– En obra, se pueden aplicar corrientes de **alta frecuencia**, aunque lo más habitual es utilizar **tratamientos químicos**. En estos hay que tener en cuenta el grado de impregnabilidad de la madera conforme a las tablas 2 (coníferas) y 3 (frondosas) de la norma UNE-EN 350-2 y, debido a la presencia constatada de xilófagos, contar con un *nivel de riesgo* superior al derivado de las condiciones de uso o servicio consideradas. Los tipos de tratamiento más utilizados son:

- Contra coleópteros y hongos tras la limpieza de la superficie para evitar que el polvo y la suciedad absorción el producto antes que la madera, se aplica este.

* La **fumigación** o *pulverización* es un tratamiento rápido y económico, y tiene también la ventaja de acceder fácilmente a rincones y lugares relativamente ocultos, aunque al no afectar a las larvas u organismos del interior de la madera hay que repetirlo varias temporadas, preferentemente en primavera. Una variante es la *vaporización* de humos por combustión controlada del insecticida. Se utiliza en maderas frondosas compactas, especialmente para anóbidos como el *xestobium*.

* La **inyección** es el sistema más utilizado. Se colocan al tresbolillo unas cánulas o tacos inyectores, con válvula de retención, y se inyecta a presión el protector (**Fig. 5.3.D/1**). El tipo y separación de los inyectores y la presión de inyección se seleccionan según el tipo de madera y absorción del producto. Se termina con 2 ó 3 manos de protección superficial y pulverización para llegar a rincones poco accesibles. Los protectores suelen ser organofosfatos y piretroides (*v. gr.* bromuro de metilo, fosfuro de magnesio, óxido de etileno, etc.). Los productos organoclorados no se utilizan por su agresividad ambiental.

34. Es recomendable utilizar como guías para la elección del tratamiento y formas de aplicación las normas UNE-EN 335-1:2007, UNE-EN 335-2:2007, UNE-EN 350-1:1995, UNE-EN 350-2:1995, y UNE-EN 351-1:2008.



Fig. 5.3.D/1. Boquillas de inyección con válvulas antirretorno (Sani Trade S.L.)

- Contra los termites, aunque también son relativamente efectivos los tratamientos contra coleópteros, es preferible usar otros específicos. Por ejemplo:

- * Formación de **barreras químicas** mediante inyecciones en el subsuelo, aunque tienen el inconveniente de la posible interacción con la vegetación y contaminación del suelo.

- * **Cebos** de celulosa con *diflubenzurón* o *hexaflumorón* (Sistema Senti-Tech)³⁵, que inhibe la formación de la piel de los insectos sin afectar al ambiente.

- * **Inyección**, como en el caso de coleópteros y hongos, aunque con un producto más específico.

E.—En el caso de que la acción perjudicial la ejerza directamente el agua, la estrategia más inmediata es la **impermeabilización** de la zona en contacto con esta, aunque existen algunas alternativas más eliminar o evitar este contacto, o incluso otras dependiendo de la procedencia y posibilidades de control que se tengan sobre el agua. Por ejemplo, los pies derechos apoyados en fábrica pueden hacerlo sobre una placa metálica, o si están en contacto con el suelo pueden calzarse y levantarse de este unos centímetros dejando una capa de aire que no solo impide el ascenso capilar sino que permite la aireación de la base del soporte.

4. RECONSTRUCCIÓN

Normalmente este tipo de intervención, que es la más *radical*, es la última se plantea, pues suele ser, entre otras cosas, la más costosa. Técnicamente es la que mejor suele permitir resolver casi todos los problemas, y hacerlo definitivamente, y mejorar o **modernizar** las soluciones originales, adaptándolas a la normativa actual. Básicamente consiste en la demolición o eliminación de los elementos constructivos originales para reconstruirlos de forma más o menos parecida y con elementos

35. Comercializado, por ejemplo, por Aplytec y por Promax.

constructivos relativamente similares. En general se intenta que la reconstrucción sea lo más coherente posible con los elementos originales, y aparte de su solución intrínseca se debe cuidar especialmente su conexión con el resto de la construcción original, lo que plantea el diseño de soluciones específicas como:

– Anclajes, apoyos o uniones entre los elementos de madera, o de éstos a otros de fábrica, hormigón o metálicos³⁶.

– Utilización de elementos de madera laminada encolada, microlaminada, o madera reconstituida (*v. gr. intrallam, microllam, parallam, etc.*)³⁷.

– Uniones mediante colgadores, conectores y pasadores metálicos propios de esta tecnología³⁸.

5. REFUERZO

Esta estrategia de intervención, en teoría, mantiene la capacidad residual del elemento o pieza original, aunque en la práctica, y a favor de la seguridad, los refuerzos se proyectan para asumir prácticamente la totalidad de las acciones. En cualquier caso debe tenerse en cuenta que, en general, el refuerzo solo absorbe las cargas aplicadas después de su ejecución, por lo que su deformación tiene que ser compatible con la del elemento reforzado. Es por esto por lo que hay que evitar que la deformación del refuerzo, al asumir su carga, imponga al elemento original una nueva deformación que no pueda asumir. Es decir, debe garantizarse la compatibilidad de las deformaciones del refuerzo y del elemento reforzado, cuya deformación se suma a la original, salvo que se tomen las medidas necesarias para evitar esta situación como, por ejemplo, el apeo y descarga del elemento, o su *contradeformación*.

En cualquier caso, deben estudiarse las posibles incompatibilidades estéticas, formales o químico-físicas de las soluciones a implementar y de sus materiales, y tener en cuenta que, en edificios de interés patrimonial, puede haber limitaciones legales a algunos tipos de intervención, además de las propias de su tecnología.

A.-Apoyos y nudos

– Una de las actuaciones más frecuentes en edificios antiguos con forjados de madera es la intervención sobre las cabezas de las viguetas empotradas en los muros de fachada que, por la humedad periódica de muchos años, acaban sufriendo problemas de pudrición. Un caso similar es de los apoyos de los pares sobre el estribo, que por su proximidad al alero o al canalón también presentan problemas similares. En estos casos, si la madera todavía mantiene parte de su capacidad

36. Ver páginas web de Bierbach, Halfen, Simpson Strong-Tie, etc.

37. Ver páginas web de Finnforest, Masonite Beams, Maderas Medina, Mitek, Nailweb, Trusjoist, etc.

38. Ver, por ejemplo, páginas web de Bierbach y de Simpson Strog-Tie, tal vez la gama más completa.

mecánica, la solución más inmediata dejarla tal cual, salvo un tratamiento de protección, y proceder a su *calzado*.

- En el caso de vigas suele hacerse mediante una ménsula empotrada en el muro inmediatamente bajo el apoyo de la viga. La ménsula, según circunstancias y condiciones, puede ser de diferentes formas y materiales, por ejemplo: un angular (100~150 mm), un chapón ($e = 10$ mm), un *hanger*³⁹ industrial o ejecutado *ex profeso*, etc. Normalmente estos elementos son de acero protegido contra la corrosión, y se anclan o empotran en el muro, según su constitución, o se apoyan en un dado-ménsula de hormigón, madera, piedra o similar.
- Otra opción es la colocación de un jabalcón de apeo que, también, permite reducir la luz de la pieza reforzada.
- En el caso de viguetas la reparación suele afectar a varias de ellas seguidas y, además, puede interferir con la carrera⁴⁰. Habitualmente, en lugar de varios apoyos individuales se coloca un solo apoyo lineal y continuo bajo ellas, aunque la desnivelación relativa de las viguetas puede complicar algo esta solución (**Fig. 5.5.A/1**). Este apoyo puede disponerse asimismo de varias formas y materiales, siendo los más corrientes un angular (L-100~150) o viga de acero (UPN) anclada al muro, chapón o angular de acero en prolongación de carrera reemplazada con perfil de acero, carrera de madera apoyada en ménsulas o muros laterales de la pieza, viga-zuncho de hormigón armado, etc.

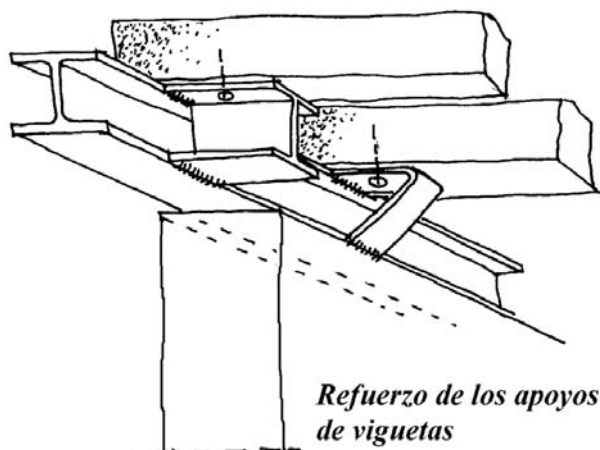


Fig. 5.5.A/1. Si la carrera se sustituye por un perfil de acero laminado se puede reforzar el apoyo de las viguetas con ménsulas soldadas a la carrera

39. Literalmente «percha». Apoyo ligero de chapa plegada en forma de «U», pero con las alas plegadas para su entrega al elemento de apoyo.

40. Es frecuente que la carrera también esté dañada. Si esta se reemplaza por un perfil de acero laminado se facilita la unión soldada entre la carrera y el calzo.

- En el caso de los pares, su inclinación complica algo las cosas. Si el estribo está en buen estado lo normal es hacer una prótesis con angulares o chapas de acero ancladas a las caras superior del estribo y laterales del par, o disponer un angular reforzando el borde interior del estribo y sobre este formar con chapas una caja en la que alojar la cabeza del par.
- Soluciones similares se emplean en cualquier otro caso, acudiendo a elementos de acero (estribos, pernos, placas, etc.) o de madera tal y como se describen en los casos de sustituciones funcionales parciales (5.6).

B.-Carreras, pares y vigas

– Cuando la madera mantiene su integridad, y únicamente se necesita su refuerzo, es posible armarla o transformarla en una **viga mixta** madero-acero, madera-fibra o madera-hormigón, según el material complementario que se utilice: chapas de acero, bandas laminadas, placas o varillas de fibra de carbono o vidrio (fibroplásticos)⁴¹, u hormigón armado. Obviamente el cálculo del refuerzo se hace como viga mixta, a partir de la compatibilidad de deformaciones, y dando por supuesto que la madera todavía tiene capacidad para deformarse; si no fuera así, porque ya tiene una flecha importante, habría que eliminar esta antes de aplicar el refuerzo pues en caso contrario la deformación necesaria para la puesta en carga del refuerzo⁴² podría derivar en la rotura de la viga. En cualquier caso, el refuerzo puede hacerse en ala o en alma y, salvo en el caso del hormigón, en tracción.

- Para armar la viga por alma o canto se cajea la viga con un canal algo más ancho que el refuerzo, y normalmente de no más de 1/3 de su anchura, y con profundidad de 3/4 a 4/5 de su canto, utilizándola como *encofrado perdido* del armado, realizado con las placas o varillas, y un mortero o resina epoxi. Si el ancho de la viga lo permite pueden hacerse varios canales. Si el aspecto de la madera no es relevante podría hacerse el refuerzo por las dos caras vistas de la viga, aunque no es lo normal.

* Un caso relativamente frecuente es el refuerzo de una carrera mediante dos UPNs adosadas a sus caras, unidas a ellas mediante tornillos o entre sí por pasadores o varillas roscadas apretadas contra la carrera (**Fig. 5.5.B/1**). Esta solución, salvo que se tomen las correspondientes precauciones, no es muy acertada por varias razones:

41. Sobre el cálculo de elementos mixtos, ver bibliografía especializada, por ejemplo ARGÜELLES y ARRIAGA (1988) y Cº10.1 del CTE DB SE-M.

42. No hay tensión sin deformación.



Fig. 5.5.B/1. Este refuerzo de vigas con chapas de acero en su cara lateral (*tabla*) es claramente erróneo e insuficiente. Su disposición cercana a la fibra neutra le resta eficacia y hace que la madera transmita sus esfuerzos a las chapas basculando sobre los tornillos de anclaje, lo que favorece el rasgado y rotura de la madera

– Las vigas de acero no suelen apoyar suficientemente, o nada, en el muro en que apoya la carrera, y su adherencia a la carrera es insuficiente para transmitir la carga que reciben de los forjados, a pesar de que se las vigas se aprietan con tornillos contra la madera, que está deteriorada y no soportará muy bien el apriete. Además, si la madera continúa su deterioro, que probablemente lo hará, la fijación de las vigas a la carrera empeorará. En estas condiciones, o las vigas apenas transmiten su carga a la carrera, o lo hacen a través de los pasadores o tornillos. Dadas las condiciones de la madera es más que probable que estos anclajes acaben aplastando la zona de madera bajo ellos. En definitiva, es muy probable que esta solución no tenga ninguna efectividad y que las deformaciones vayan en aumento.

- El armado por tabla, en la cara inferior, y salvo que la madera esté en óptimas condiciones, no es muy adecuado, debido a la dificultad que se tiene para compatibilizar las deformaciones (y tensiones) del material de armado con las de la madera, lo que lleva a soluciones de bajo rendimiento mecánico, con poca tracción en el refuerzo y mucha compresión en la madera. También puede introducirse el armado en ranuras laterales situadas cerca de la cara inferior de la viga.

* Un caso especial es la disposición de una cabeza de hormigón colaborante sobre la cara superior de la viga, unida con conectores metálicos atornillados, clavados o encolados. Tratamos de ello más adelante, en el caso de los forjados (5.5.C).

– Otra opción de refuerzo es adosar nuevas piezas de madera a la original, bien sea por canto o por tabla. La unión se hace mediante adhesivos o anclajes

físicos, mecánicos, o químicos y, desde el punto de vista mecánico, es similar a las anteriores, con la salvedad de que el material de refuerzo es más parecido al original.

C.-Forjados

– Uno de los sistemas más utilizado es la *bandeja* o *cortaluces* de apeo, formando un refuerzo inferior permanente, normalmente con perfiles de acero, aunque pueden usarse otros materiales. Para conseguir un trabajo solidario deben compatibilizarse las deformaciones y cargar (acunar) el refuerzo. El refuerzo puede ser:

- **Homodireccional**, es decir en el mismo sentido que el forjado original. Es, de ser posible, la mejor solución, porque apenas se altera el estado de tensiones del conjunto del edificio. Puede apoyarse en (o colgado de) las carreras, o hacerlo en el muro, directamente o a través de perfiles o chapas. Normalmente se utilizan viguetas separadas 60~90 cm con zoquetes o brochales intermedios y una chapa troquelada sujetando el entrevigado. En cualquier caso es importante no romper el atado que hacen las carreras.
- También puede disponerse **cruzado**, apoyado en muros o vigas transversales, en cuyo caso hay que considerar los efectos del desvío de cargas y nuevas deformaciones asociadas a ello (de carga de unos elementos y descarga de otros).
- Para intervenciones de poca extensión puede hacerse en **diagonal**, cogiendo las cabezas de las viguetas entre la carrera y un muro o viga transversal. Es relativamente típico en el rincón entre muros de fachada y medianería, cuando la afectación de las cabezas de las viguetas es un poco más extensa solo en esta zona.
- Y en caso de crujías muy largas, puede hacerse **mixto**, con *cortaluces* transversales apoyados en vigas paralelas a viguetas, normalmente situados en los cuartos o en los tercios de la luz del forjado (**Fig. 5.5.C/1**). Para no bajar mucho la altura libre el acero puede trabajarse con los cortes correspondientes manteniendo en el mismo plano superior las alas de las vigas y viguetas del refuerzo.



Fig. 5.5.C/1. Apeo permanente de un forjado mediante dos planos de perfiles de acero laminado. El primero recoge la carga del forjado en los cuartos de su luz, y el segundo la del primero, para llevarla a los pilares

– Otra forma de cortar las luces es mediante **jabalcones** que, en este caso, se llevan más hacia el interior del vano que cuando sólo se quiere asegurar el apoyo de la vigueta (**Fig. 5.5.C/2**).



Fig. 5.5.C/2. Apeo permanente de un forjado con dos líneas de jabalcones en los cuartos de la luz (Clerecía de Salamanca)

– **Atirantado**, mediante barras de acero ancladas en la cabeza de la viga y una o dos cortas bielas colocadas en el centro, tercios o cuartos del vano. Al menos en una de las cabezas debe disponerse el sistema de atirantado de la barra de acero, normalmente un sistema de rosca y tuerca. Al quedar vista esta solución no es muy utilizada, salvo en situaciones de relativa urgencia en las que tampoco se quiera interferir demasiado en el edificio original, pues esta solución es fácilmente desmontable sin dejar apenas huellas.

– Con **capa de compresión**. Puede aprovecharse para colocar un zuncho de atado de hormigón armado. En este caso, lo más fácil suele ser hacerlo en una roza superior al plano del forjado sin tocar la carrera original, y, si la resistencia a cortante de las viguetas fuera insuficiente, colgar la losa de compresión de este zuncho. Asimismo puede este anclarse al muro, preferentemente mediante barras

introducidas en taladros inclinados. Si hay además se tuviera que atar el muro, los taladros deben llegar a la cara exterior para introducir la armadura y doblarla en paralelo al paramento introducida en la correspondiente caja o ranura; en este caso conviene que las barras de atado se prolonguen suficientemente para anclarse en la losa interior. En cualquier caso, y según el número y tipo de conectores, la losa de hormigón puede considerarse:

- *Conectada* rígidamente⁴³, como cuando se utilizan los suficientes conectores, que pueden ser lineales⁴⁴, de cortante⁴⁵, o de tracción (45° en vertical), con mejor aprovechamiento estos que los de cortante, pero más difícil ejecución.
- *Desconectada*, es decir sin conectores, actuando únicamente como solera sobrepuesta al forjado (**Fig. 5.5.C/3**). Básicamente solo reparte cargas entre viguetas colindantes, aunque teniendo en cuenta la rugosidad natural de las caras superiores de los forjados originales, su papel es algo más positivo, aunque no se pueda considerar a efectos de cálculo.



Fig. 5.5.C/3. Losa de hormigón armada desconectada del forjado. Más que como refuerzo funciona como capa de reparto de limitado alcance

- *Semiconectada*, o con conectores relativamente flexibles, como, por ejemplo, clavos cruzados. Dentro de estas soluciones también podríamos incluir algunas especiales que, en realidad, también podrían considerarse como sustituciones funcionales (5.6), como por ejemplo:

* Vigueta de acero y hormigón armado o pretensado en uno de cada dos o tres entrevigados, es decir, separadas unos 70~90 cm, conectada a la capa de compresión.

– **Empanelado** en cajón, mediante el atornillado y/o encolado de dos capas continuas de tableros de madera, superior, e inferior, que sirven, a su vez, de suelo

43. Como procedimiento de cálculo puede utilizarse el del profesor ÁVILA JALVO (2003).

44. Por ejemplo los de Peter Cox.

45. Ver páginas web de SFS Stadler, Sylvabat, Tecnaria.

y de techo, o de soporte a los mismos. Los tableros, asimismo, pueden ser doblados en caso de necesidad⁴⁶.

– Y finalmente puede ser que sea suficiente con hacer el **refuerzo individual** de alguna vigueta. Para ello vale la particularización de alguna de las soluciones ya vistas. Además, existen otras, como:

- Con perfiles de acero

* Apoyo en palanca, con bridas y chapas o perfiles de acero, pasando la brida por la cara superior de la vigueta en el extremo interior del refuerzo (Fig. 5.5.C/4).

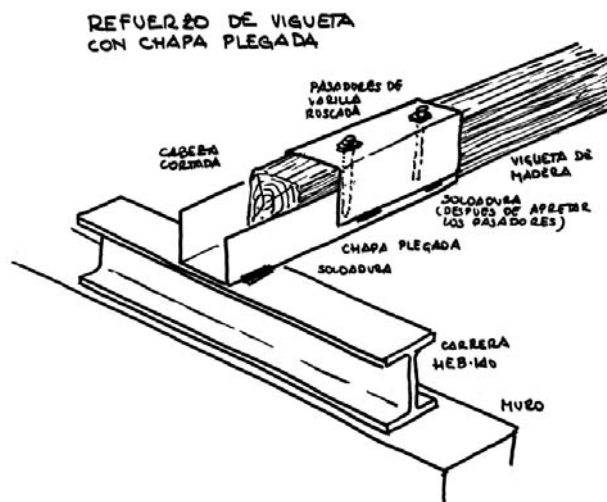


Fig. 5.5.C/4. Refuerzo *en palanca* del apoyo de una vigueta, realizado con chapa plegada

* Colgado y apriete discontinuo de perfil inferior contra cara superior.

- Con tablas o tableros de madera *microlaminada* o natural, atornillada, clavada o encolada⁴⁷, o elementos metálicos o laminados de fibras en forma similar a como se indicó en 5.4 y en 5.5.B.

D.–Pies derechos

– En el caso de pilares esbelto con cargas relativamente altas puede ser necesario su **acodalado**, para reducir su longitud de pandeo. Sin embargo, el problema es que normalmente solo puede hacerse en la dirección del plano del muro, lo

46. Para su cálculo deben tenerse en cuenta las indicaciones del art. 10.1.13 del DB SE-M. El procedimiento general se recoge, por ejemplo, en ARGÜELLES ÁLVAREZ, R. (1988), «Estructuras mixtas: madero-tablero: cálculo y disposiciones constructivas», Cap. 2 de AA VV (1988), *Curso de construcción en madera*, COAM, 1988, pgs. 78–87.

47. V. gr. sistemas Kerto® de Finforest.

que requiere la introducción de algún elemento rigidizador en el plano ortogonal, análogo a alguna de las soluciones que se tratan a continuación.

– El **apeado**, **encamisado** o **forado** del pie derecho es la actuación más frecuente en este tipo de elementos. Preferentemente, y desde un punto de vista técnico, se debería hacer por las caras laterales del soporte, cogiendo la carga de la zapata y carrera de apoyo, e interponiendo unas placas de acero para el apoyo y transmisión de cargas. Sin embargo esto tiene el inconveniente de tener que rasgar el paño del muro, además de eliminar los puentes intermedios⁴⁸. La opción de trabajar por las caras vistas es aparentemente más sencilla, salvo que solo tengamos acceso a una de las caras, como sucede en muros divisorios de propiedades diferentes. El refuerzo suele hacerse:

- Con chapas o perfiles de acero empresillados. Es fundamental, si queremos que sirva de algo, dotar al refuerzo, en cabeza y pie, de los elementos capaces de recoger la carga superior y pasarla a los elementos inferiores. La colocación de cuatro angulares empresillados, sin más, sirve de muy poco.
- Con tablas o tablones de madera *microlaminada* (LVL) o natural, atornillada, clavada o encolada⁴⁹, por caras laterales, apeando la zapata.

– **Calzado**. Cuando únicamente la base del pie derecho se encuentra dañada. Una buena solución es eliminar solo la madera degradada, y sustituirla por un mortero o resina epoxi anclada a la parte sana de la madera con barritas o espigas corrugadas de fibroplásticos (**Fig. 5.5.D/1**). La solución es similar a una *microprótesis*, aunque no se elimina la totalidad de la sección de la pieza, lo que nos ahorra tener que apeare el edificio.



Fig. 5.5.D/1. Calzado de un pie derecho con pasta de resina epoxi anclada y armada con varillas de fibra de vidrio. Las fendas superiores están contenidas con bridas de acero

48. Esto no suele ser muy problemático, porque los travesaños no suelen estar en buenas condiciones en estos casos.

49. V. gr. sistemas Kerto® de Finnforest.

6. SUSTITUCIÓN FÍSICA O FUNCIONAL, PARCIAL O TOTAL, DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

En esta estrategia se eliminan total o parcialmente los elementos afectados, o se les inutiliza funcionalmente, gracias a la colocación de otros nuevos de naturaleza claramente diferente a los originales, por lo que, en algunos casos, su diferencia con las estrategias de *refuerzo* es más conceptual que práctica puesto que en estas, por razones de seguridad, se prepara el refuerzo para asumir la totalidad de la carga; no obstante, el refuerzo, frente a la sustitución, tiene la ventaja de ser menos agresivo para el edificio y requerir menos medidas de seguridad (*v. gr.* apeos). Asimismo, cuando la sustitución es *física y total*, estamos realmente ante una *reconstrucción* (5.4). En cualquier caso, debe resolverse perfectamente la unión de la madera nueva con la vieja, para lo que, normalmente, se recurre a uniones dentadas o talladas y encoladas, opcionalmente reforzadas con bridas, espigas, pasadores, etc. En cualquier caso, para el diseño y ejecución de las uniones entre piezas, se tendrán en cuenta las indicaciones del CTE DB SE-M, especialmente las contenidas en los apartados 4.5 *Adhesivos*, 4.6 *Uniones*, y C^o 8 *Uniones*. A las *sustituciones físicas parciales* se las designa habitualmente como **prótesis** bien sea *externa* o *interna*, construyéndose normalmente de acero o de madera, aunque desde hace años se construyen **microprótesis** con pasta de madera-epoxi armada, o no, con varillas de distinta naturaleza, normalmente fibra de vidrio en matriz de poliéster⁵⁰, inclinándose las varillas más o menos en función de su forma de trabajo, y posibilidades de intervención. En cualquier caso, y como siempre, el punto crítico está en el anclaje y unión entre elementos nuevos y viejos, donde vuelven a aparecer los problemas ya tratados de adhesivos, bridas, bulones, clavos, espigas, pasadores, etc.

A.—Carreras, estribos, vigas y zancas

– Las prótesis de madera pueden ser por canto⁵¹, o por tabla⁵², con talla del empalme en bisel, boca de lobo, horquilla, media madera, etc., siendo también posible hacerlas con madera laminada encolada o madera reconstituida (*microlam, paralam*, etc.), en forma análoga a la madera natural, pues se trabajan de forma parecida.

– Las prótesis con elementos laminados de acero son muy similares a las soluciones ya vistas con estos materiales, por lo que a ellas remitimos (**Fig. 5.6.A/1**).

50. Ver *Repair-Care Systems* (<http://www.RepairCareSystems.com>).

51. En el caso de una viga, la unión se hace con caras de contacto verticales, cubriendo en cualquier caso una longitud mínima de 4 veces el ancho de la pieza si la unión es en *boca de lobo*, o 6 veces si fuera en *bisel* recto.

52. En el caso de una viga, la unión se hace con caras de contacto horizontales o, mejor, inclinadas, cubriendo en cualquier caso una longitud mínima de 3 veces el canto de la pieza si es en *boca de lobo*, o 4 veces si en *bisel* recto.



Fig. 5.6.A/1. Sustitución de una carrera con perfiles de acero laminado. El muro y el pie derecho superiores están calzados provisionalmente con cuñas y tacos de madera

– También se dispone en el mercado de soluciones con resinas y armado con varillas corrugadas o roscadas de acero, de fibra de vidrio, etc., como el **sistema Beta**⁵³.

B.–Cubiertas o forjados

– En el caso de los forjados, la *sustitución física* suele requerir, también, la sustitución de las carreras. Sin embargo, en los faldones de cubierta, es más fácil que podamos conservar el estribo. En general, las soluciones utilizan materiales como el acero laminado, la chapa colaborante, la madera laminada encolada, microlaminada⁵⁴, o natural y son muy parecidas a las de obra nueva o a las descritas en el caso de *reconstrucción* (Fig. 5.6.B/1).

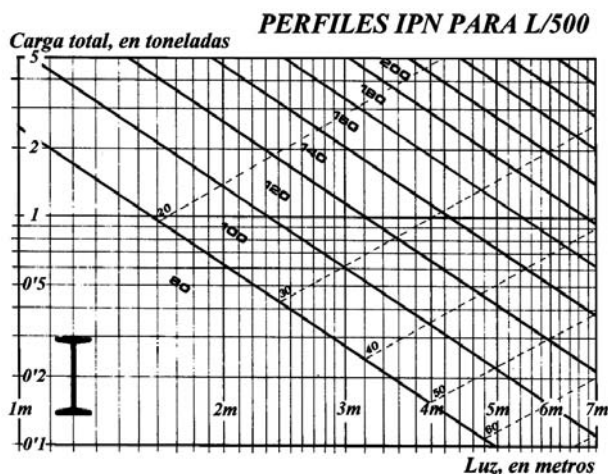


Fig. 5.6.B/1. Ábaco para el dimensionado de vigas en función de la carga total (Tm \approx 10kN) y su luz de cálculo (m). Ejemplo: para 1 Tm (10 kN) y 4 m de luz, IPN-140

53. Comercializado por Promax Protección de Maderas, SA, del Grupo Zeltia. Ver <http://www.promaxsa.com>

54. V. gr. sistemas Kerto-S o FJI, de Finforest.

– En el caso de *sustitución funcional* las soluciones vuelven a parecerse a las descritas para el caso de refuerzos (5.5), aunque también podemos optar por una losa armada vertida sobre el forjado original que únicamente se utiliza como encofrado perdido.

C.–Pies derechos

– La eliminación de pies derechos inservibles, en muchos casos, no es tan problemática como parece, porque las cargas suelen ir bastante repartidas y porque el edificio ya ha encontrado el mecanismo de mantenerse en pie sin ese elemento, así que, aunque tenemos que vigilar especialmente no transmitir vibraciones al edificio, podemos trabajar con cierta tranquilidad. Por esta circunstancia, en edificios que ya han alcanzado una estabilidad, puede ser preferible no intentar volver a recuperar la carga puntual del pilar, y dejarla repartida en el muro. En estos casos lo mejor es eliminar el pie derecho, o sus restos, y rellenar su hueco sustituyéndolo por fábrica de ladrillo más o menos enjarjada al muro; si la sustitución es parcial, conviene apoyar lo que permanezca del pie derecho sobre un último tendel de mortero sin retracción intercalando una chapa de cobre para evitar la posible ascensión de humedad capilar. En otros casos es necesario asegurarse, como siempre, de coger las cargas superiores y transmitir las a los apoyos inferiores, y hacerlo de forma que las deformaciones sean mínimas. Actualmente, el material más utilizado para la sustitución de pies derechos es el acero laminado, aunque poco a poco se va extendiendo el uso de madera laminada encolada o natural.

VI. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

Con carácter general, aparte de lo visto en apartados anteriores, deberán tenerse igualmente en cuenta las especificaciones del CTE DB SE-M y SI-6, aunque complementariamente pueden considerarse las indicaciones de los Eurocódigos y normas UNE citadas en la bibliografía.

1. DISEÑO

A.–Las medidas de **protección activa** contra el fuego se recogen en el *CTE DB SI 4, Detección, control y extinción del incendio*, y en otra normativa sectorial específica de ámbito autonómico o municipal, y quedan fuera de los planteamientos de este tema en el contexto del presente Tratado, no obstante, deberán consultarse e implementarse en su caso, obligatoria o voluntariamente. En el caso de hongos e insectos más que cuestiones de diseño, encontramos que lo importante es adoptar las convenientes costumbres de higiene y limpieza doméstica y de correcto uso y mantenimiento del edificio, aparte de otras actuaciones resumidas en el apartado 5.3.D.

B.–La **protección pasiva** contra el agua, fuego, hongos e insectos y radiación solar, puede hacerse por dos vías: la constructiva y la química.

– Debemos adoptar *disposiciones constructivas* que garanticen o mejoren la durabilidad de la madera, como las siguientes:

- Aireación de elementos de madera y cabeza de viguetas, especialmente en las entregas a fábricas higroscópicas, permeables o porosas.
- Concentrar cargas y dimensionar las piezas con secciones grandes, baja relación S/V posible, y sin aristas vivas ni rincones.
- Evitar condensaciones, especialmente las intersticiales, si la madera queda empotrada u oculta.
- Facilitar la evacuación de agua y lluvia en maderas vistas, especialmente en zonas en contacto o próximas al suelo.

* En el caso de apoyos de arcos o pies derechos (pilares) es buena práctica adoptar disposiciones que dejen la pieza levantada y separada del suelo una distancia proporcional al ancho de la pieza, del orden de un 15-20% de su dimensión menor, con un mínimo de 1,5 cm⁵⁵.

* Disponer siempre de goterones en elementos horizontales, y evitar superficies horizontales expuestas al exterior, especialmente testas.

- Proteger a la madera del contacto con tuberías frías o húmedas y separarla todo lo posible de ellas.
- Garantizar la accesibilidad a las superficies de madera, y diseñar sus formas de manera que se puedan cubrir con una protección sin discontinuidades y, llegado el caso, de fácil reemplazo o reparación.
- Utilizar preferentemente soleras secas; no solo son secas, sino que también son más flexibles que las de conglomerantes hidráulicos, y acompañan mejor a las deformaciones naturales de la madera.

– Para la *protección química* de la madera, aparte de la pinturas de protección utilizadas normalmente en maderas vistas⁵⁶, conviene utilizar especies de la mayor durabilidad natural posible, y en caso de riesgos altos no utilizar madera de difícil impregnabilidad o tratamiento⁵⁷. Puede utilizarse como guía para la aplicación de la madera maciza en relación con las condiciones de durabilidad el Anexo A (informativo) de la norma UNE-EN 335-2:2007. Asimismo se deben utilizar herrajes que no se alteren en contacto con la madera, especialmente si esta es ácida, y preferentemente inoxidable o galvanizados, etc.

- La protección específica contra el **fuego** puede ser:

* Profunda por impregnación, o ignifugación, preferentemente hecha en autoclave o por inmersión en caliente.

55. Ver ejemplos en ESTEBAN HERRERO (2994).

56. Mejor pinturas o lasures que barnices, y mejor pinturas claras que oscuras. En el caso de barnices y lasures, coloreados o no, existen buenos productos en el mercado, como el Xyladecor o Xylatop sobre imprimación Xylamon, de Xylazel, SA (<http://xxx.xylazel.com>).

57. Ver UNE-EN 350-2:1995.

* Superficial:

– Por revestimiento, con pinturas intumescentes, aunque difícilmente se consigue más de EF-30⁵⁸.

– Por recubrimiento, con placas o paneles de fibra mineral, silicato, yeso laminar, etc.⁵⁹.

- Contra hongos e insectos **xilófagos** hay que considerar el grado de impregnabilidad de la madera según tablas 2 (coníferas) y 3 (frondosas) de la norma UNE-EN 350-2, y adecuar el tipo de protección a la clase de uso o servicio conforme a la normativa UNE citada. En general, se consideran tres tipos de penetración⁶⁰:

* *Profunda*, para riesgos de ataque altos. El protector llega a más del 75% del volumen de la pieza.

* *Media*, para riesgos de ataque medios. Es mayor de 3 mm en cualquier punto, pero sin llegar al 75% de la sección o volumen impregnable.

* *Superficial*, para riesgos de ataque bajos. La penetración mínima debe ser de 1 mm, pero con media de 3 mm. Puede hacerse por brocha, pulverizado o rodillo. Únicamente se garantiza una penetración de pocos mm, según tipo de disolvente.

- En el caso de la protección específica contra termites remitimos a lo indicado en 5.3.D.

2. EJECUCIÓN

Durante la ejecución de la obra, aparte de las normas generales de buena práctica, tal vez lo más importante es asegurarse de utilizar maderas densas y duras, secas y protegidas, especialmente en zonas de máximo riesgo de calentamiento o humedad (**Fig. 6.2/1**). Igualmente hay que evitar su absorción de humedad, y el deterioro por exposición a los meteoros.

58. Por ejemplo con productos como Pyro-Tech LS de Thortex, Promapaint de Promax, etc.

59. Por ejemplo, Sistemas Promat Ibérica, SA, del Grupo Uralita (<http://www.promatiber.es>).

60. UNE-EN 351-1:2008.



Fig. 6.2/1. Protección original con breá, en las cabezas de las viguetas de un forjado en un edificio de finales del S. XIX

3. CONSERVACIÓN

A.–Condiciones de uso

– En reformas es importante no eliminar cuajados de fábrica ni elementos de arriostramiento, ni pies derechos, de forma que se concentren cargas relevantes en puntos no preparados para ellos.

– No sobrecargar forjados con exceso de carga. Tener en cuenta que no disponen de capa de reparto, y que las cargas concentradas, puntuales o lineales, las asumen una o dos vigas. Esto es importante en el caso de estanterías pegadas a la tabiquería, donde se suman los pesos correspondientes sin repartirse entre varias viguetas. Lo mismo sucede con maquinarias de diversa índole. Asimismo, las vibraciones que esta puedan transmitir, teniendo en cuenta las condiciones elásticas de la madera, pueden tener más importancia que en un edificio con otro tipo de forjado.

B.–Condiciones de mantenimiento

– Procurar la inmediata reparación de cualquier humedad y vigilar su rápido secado.

– Recubrir periódicamente las maderas vistas renovando su barniz o pintura cada 4~5 años como máximo, utilizando un buen producto con suficiente garantía de su fabricante.

VII. BIBLIOGRAFÍA

AA VV (1988), *Curso de construcción en madera. Estructuras mixtas, rehabilitación y carpintería*, Ed. COAM, Madrid, 1988, ISBN: 84-7740-024-5.

AA VV, CASANOVAS, X., dir. (1995), *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta*, Ed. C.A.i A.T.B., Barcelona, 1995, ISBN: 84-87104-22-3.

- ABÁSULO, A. (1996), *Apeos. Apeos y grietas en la edificación*, Ed. Munilla-Lería, Madrid, 1996, ISBN: 84-89150-09-5.
- AENOR, CTN 056 (1995), UNE-EN 350-1:1995. *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera.*
- (1995), UNE-EN 350-2:1995. *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.*
- (1995), UNE-EN 460:1995. *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Guía de especificaciones de durabilidad natural de la madera según las clases de riesgo.*
- (2003), UNE-EN 338:2003. *Madera estructural. Clases resistentes.*
- (2006), UNE-EN 14081-1:2006. *Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal clasificada por su sección rectangular. Parte 1: Requisitos generales.*
- (2007), UNE 56544:2007. *Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.*
- (2007), UNE-EN 335-1:2007. *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Definición de las clases de uso. Parte 1: Generalidades.*
- (2007), UNE-EN 335-2:2007. *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Definición de las clases de uso. Parte 2: Aplicación a la madera maciza.*
- (2008), UNE-EN 351-1:2008. *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores.*
- AENOR, CTN 140 (2006), UNE-EN 1995-1-1. *Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera.*
- ARGÜELLES, R.; ARRIAGA, F. (1988), *Curso de diseño y cálculo de estructuras de madera*, Ed. COAM, Madrid, 1992 (2ª ed.), ISBN: 84-7740-015-6.
- BELLMUNT I RIBAS, R. (2003), *Los conectores entre madera y losas de hormigón*, Ed. ITEC, Barcelona, 2003, ISBN: 84-7853-442-3.
- BRAVERY et al. (1987), *Recognising wood rot and insect damage in buildings*, Ed. BRE, London, 1987, ISBN: 0-85125-244-3.
- ESPASANDÍN LÓPEZ, J.; GARCÍA CASAS, J. I. (2002), *Apeos y refuerzos alternativos. Manual de cálculo y construcción*, Ed. Munilla-Lería, Madrid, 2002, ISBN: 84-89150-53-2.
- IZQUIERDO BERNALDO DE QUIRÓS, J. Mª (1996), «Patología de estructuras de madera», *Cuadernos INTEMAC*, 1996.I (21), ISSN: 1133-9365.
- LASHERAS MERINO, F. (1998), «Patología de la madera» en *Tratado de rehabilitación*, Vol. 3. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales, Ed. Munilla-Lería, Madrid, 1998, ISBN: 84-89150-24-9, pgs. 255-276.
- LOZANO, G.; LOZANO, A. (1995), *Curso de técnicas de intervención en el patrimonio arquitectónico*,

- Tomo 1. Reestructuración en madera, Ed. Cons. Técn. de Construcción CB, Gijón, 1995, ISBN: 84-920401-0-G.
- MINISTERIO DE LA VIVIENDA (2008), *Código Técnico de la Edificación. Parte II: DB SE-F, Seguridad Estructural: Fábrica (Libro 5)*, ISBN: 978-84-340-1742-9, NIPO (BOE): 007-08-035-0.
- (2008), *Código Técnico de la Edificación. Parte II: DB SE-M, Seguridad Estructural: Madera (Libro 6)*, ISBN: 978-84-340-1743-6, NIPO (BOE): 007-08-036-6.
- (2008), *Código Técnico de la Edificación. Parte II: DB SI, Seguridad en caso de Incendio (Libro 7)*, ISBN: 978-84-340-1744-3, NIPO (BOE): 007-08-037-1.
- MONJO, J.; MALDONADO. L. (2001), «Sistemas estructurales de madera», Cap. 4 de *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*, Ed. Munilla-Lería, Madrid, 2001, ISBN: 84-89150-47-8, pgs. 163~206.
- MOURIER et al. (1979), *Guía de los animales parásitos de nuestras casas*, Ed. Omega, Barcelona, 1979, ISBN: 84-282-0534-5.
- PÉREZ MARTÍN, J. L. y otros. (1991), «Arqueología urbana. Sistemas constructivos de 1750 a 1936», Cap. III de *Restauración y rehabilitación*, U.D. 1, Fund. Escuela de la Edificación/UNED, Madrid, 1991 (2ª ed. corr. y ampl.), ISBN: 84-86957-35-4.
- ROCCHI, P. (1994), «Strutture horizontal, solai in legno» y «Coperture, capriate lignee», Cap. C1 y D1 de *Manuale del consolidamento*, Ed. DEI s.r.l., Roma, 1999, ISBN: 88-7722-569-6, pgs. 71~87 y 101~108.
- RODRÍGUEZ BARREAL, J. A.; ARRIAGA MARTITEGUI, F. (1988), «Patología de la madera», y «Rehabilitación: consolidación y tratamiento», Cap. 4 y 5 de *Curso de construcción en madera. Estructuras mixtas, rehabilitación y carpintería*, COAM, Madrid, 1989; 21 x 30 cm; pgs. 205~281. ISBN: 84-7740-024-5.
- SERRANO ALCUDIA, F. (2002), «Patología de estructuras de madera», Cap. 6 de *Patología de la edificación. El lenguaje de las fisuras*, Madrid, 2002 (2ª ed. Ampl. y corr.), ISBN: 84-86957-90-7, pgs. 293~342.

