Anexos

Anexo A Organismos xilófagos

A.1 Generalidades

En este anexo se explican los diferentes tipos de organismos xilófagos con un enfoque simplificado pero con un nivel adecuado a los conocimientos que se requieren para la inspección de un edificio por un técnico especializado en la construcción. Por este motivo para cada tipo de organismo se incluye una descripción básica de su modo de actuación y las características físicas que permiten su identificación.

Después de la lectura de este anexo una de las consecuencias de mayor relevancia que pueden extraerse es que la mayoría de los organismos xilófagos (hongos, termitas y algunos insectos de ciclo larvario) están ligados a contenidos de humedad elevados en la madera, además de lo evidente que resulta para el caso de los xilófagos marinos. Este hecho resulta de gran ayuda en la inspección del edificio y en el diseño de soluciones.

Por último, es importante reconocer la función natural de los organismos xilófagos dentro de un proceso de biodegradación que puede verse como una ventaja frente a otros materiales. Pero ante la imagen perecedera de la madera se puede comprobar una realidad muy diferente cuando las condiciones son las adecuadas. En muchos casos la ausencia de humedad es suficiente para eliminar el riesgo de ataque de los agentes xilófagos.

A.2 Hongos xilófagos

Los hongos son vegetales de organización celular muy primitiva ya que carecen de raíz, tallo y hojas. No tienen clorofila lo que les obliga a vivir de una forma saprófita (sobre elementos muertos) o en forma parásita (se alimenta o crece con sustancias de otros animales o vegetales con quién vive unido).

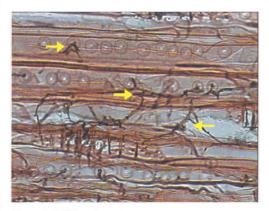


Figura A.1 Hifas de un hongo en una preparación microscópica.

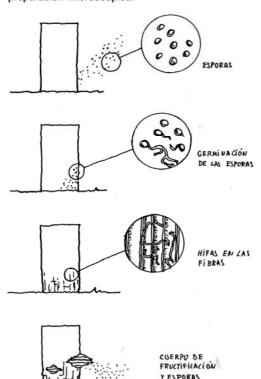


Figura A.2 Ciclo de vida de los hongos.

La parte principal del hongo son las hifas que son células muy finas (diámetro de unos 2 μ m) que sólo son visibles con microscopio, figura A.I. Se introducen en la madera a través de los vasos y traqueidas y se alimentan de las sustancias de reserva existentes en el interior de las células (mohos y hongos cromógenos) o de los componentes de la pared celular mediante la segregación de enzimas para producir la descomposición de la misma (hongos de pudrición). Las hifas aumentan en tamaño y número y van formando un conjunto filamentoso denominado micelio. En determinadas circunstancias el micelio del hongo se transforma en los cuerpos de fructificación, que es lo que suele queda a la vista y que desprende las esporas para su reproducción, figura A.2. Las esporas pueden trasladarse a otras zonas mediante el viento y los animales y en la práctica se encuentran presentes en cualquier ambiente por lo que si las condiciones son adecuadas a su desarrollo es fácil la germinación en cualquier pieza de madera.

La exigencia mínima del contenido de humedad de la madera para el desarrollo de los hongos es del 18 - 20 %, con un valor óptimo comprendido entre el 25 y el 55 %. Como son organismos aeróbicos necesitan la presencia de oxígeno por lo que también tienen un valor máximo para la humedad de la madera (140 - 175 % aproximadamente)

Dentro de los hongos que afectan a la madera se pueden distinguir los mohos, los hongos cromógenos y los hongos de pudrición.



Figura A.3 Mohos.

A.2.1 Mohos

Estos hongos se alimentan de las materias almacenadas en el interior de las células de la madera. Son incapaces de alimentarse de los principales componentes de la pared celular (celulosa o lignina), por lo que no producen pérdidas significativas en la resistencia de la madera. Estos mohos son los mismos que se producen sobre telas húmedas, alimentos, etc.

Sus hifas son incoloras y su crecimiento sólo se detecta cuando el cuerpo de fructificación forma sobre la superficie una especie de pelusilla (proliferaciones algodonosas) transparente, o con tonalidades que van desde el color blanco al negro, figura A.3.

Debido a su crecimiento superficial son fáciles de eliminar, con un trapo o mediante medios mecánicos. Aunque no resultan peligrosos por su mínima acción degradadora, son preocupantes porque crean las condiciones necesarias para el desarrollo de los hongos de pudrición.



Figura A.4 Hongos cromógenos. Azulado.

A.2.2 Hongos cromógenos

Al igual que los mohos estos hongos sólo se alimentan de las sustancias de reserva de la madera de manera que no producen degradaciones en la pared y no afectan a las propiedades mecánicas de la madera. Se caracterizan porque producen coloraciones en la madera.

Los principales hongos cromógenos que existen en España son la coloración azul de la madera (azulado) y el pasmo de la madera (principalmente en el haya).

El azulado está producido principalmente por hongos pertenecientes a los géneros Cerastostomella y Ceratocystis. Afectan normalmente a la madera de conífera, aumentan la permeabilidad al paso de líquidos, haciéndola más higroscópica e inciden en el aspecto estético, figura A.4.

El pasmo de la madera está producido por hongos de la clase Basidiomicetos y se da principalmente en la madera de haya tras su apeo en el monte. Originan una alteración de su color natural apareciendo un veteado irregular muy marcado, figura A.5.



Figura A.5 Hongos cromógenos. Pasmo del haya.

A.2.3 Hongos de pudrición

Este tipo de hongos es el que produce daños graves en la madera. Se alimentan de los componentes de la pared celular llegando a provocar la destrucción completa de ésta. Afectan a la madera mediante la secreción de enzimas para metabolizar la celulosa, hemicelulosa y la lignina, componentes de la pared celular. Su efecto es la pérdida de densidad y resistencia acompañados de un cambio de coloración y un aumento del contenido de humedad.

En una primera fase la madera afectada de pudrición cambia de color haciéndose más oscura y sus propiedades físico-mecánicas apenas varían. La pudrición no es fácil de reconocer en sus etapas iniciales ya que las hifas permanecen ocultas en su interior. Según va desarrollándose la pudrición se va acentuando el cambio de color, rojizos-pardos o a veces a colores claros, la madera empieza a peder masa y aumentar su contenido de humedad. En la fase final del proceso se llega a la disgregación completa de la es-tructura de la madera con pérdida total de sus propiedades mecánicas.

Los componentes principales de la pared celular son la celulosa, en una proporción del 40-60 %, y la lignina, en una proporción del 20-30 %. La clasificación de las pudriciones se basa en las altera-ciones de color de la madera en su fase inicial de pudrición. La madera atacada toma unas veces un color más claro y otras un color más oscuro que la madera sana. De aquí la división de las pudriciones en blancas y pardas, que es desde luego imperfecta. Las pudriciones blancas se caracterizan porque el hongo se alimenta principalmente de la lignina, que tiene un color marrón, y dejan intacta la celulosa, que tiene un color blanco; por el contrario las pudriciones pardas se caracterizan porque el hongo se alimenta principalmente de la celulosa y dejan intacta la lignina. Después de la pudrición el material ya no es madera sino que ha perdido su estructura fibrosa y su capacidad mecánica.

Clasificación de las pudriciones:

La clasificación de las pudriciones puede hacerse según diversos criterios. La clasificación más aceptada es la que conjuga el color de la madera atacada junto el aspecto que presenta, que aunque sigue siendo imperfecta, permite agruparlas con cierta facilidad:

- pudriciones pardas o cúbicas (producidas por hongos de la clase Basidiomicetos)
- pudriciones blancas o fibrosas (Basidiomicetos)
- pudriciones blandas (Ascomicetos).

a) Pudrición parda o cúbica

La pudrición parda está producida por hongos que se alimentan preferentemente de la celulosa y la hemicelulosa dejando, como consecuencia, un residuo de color marrón oscuro formado principalmente por lignina. Al secarse la pieza el material residual tiende a agrietarse formando una estructura de pequeños cubos o prismas que se disgrega con facilidad entre los dedos como si fuera polvo, figura A.6. La destrucción no se hace visible hasta que la madera haya perdido del 10 al 20 % de su peso, que corresponden a unas pérdidas del 80 - 95% de su resistencia mecánica.

El ataque inicial que efectúan en la madera estos hongos favorece el ataque posterior de ciertos insectos xilófagos, como los anóbidos.

Dentro de las pudriciones pardas se pueden diferenciar dos tipos: la pudrición parda húmeda (la más frecuente) y la pudrición parda seca.

Pudrición parda húmeda:

La pudrición parda (o pudrición parda húmeda) es la más frecuente y está producida principalmente por las especies *Coniophora cerebella* D. (o *Coniophora puteana* K.) Y la *Poria vaillantii* F. (o *Poria vaporaria* F.) que afectan a la madera de conífera y de frondosa.

Pudrición parda seca:

La pudrición parda seca está producida por hongos cuyas hifas son capaces de transportar el agua desde los lugares húmedos hasta la madera seca, por lo que la pudrición puede extenderse fuera de la fuente de humedad (este es el origen de su denominación). La especie que produce este daño es el *Merulius lacrymans* W. (o *Serpula lacrymans* G.).

Este tipo de pudrición ataca a las maderas situadas en lugares mal ventilados y normalmente a las piezas de madera empotradas en los muros. La madera dañada presenta en la superficie una pudrición cúbica (grandes rajas tanto en el sentido longitudinal como transversal, que forman los típicos cubos mucho mayores que los que originan las pudriciones pardas húmedas), la madera se deshace en forma de polvo cuando se toca superficialmente.

Tiene una cierta tolerancia para las condiciones alcalinas que le permite extenderse a través de los poros de la mampostería. En edificios antiguos es relativamente fácil encontrar ramificaciones del hongo entre el ladrillo y el mortero. Aunque pueden desarrollarse sobre la superficie de otros materiales, en muy raras ocasiones se desarrollan sobre la mampostería. Su crecimiento sólo puede realizarse sobre morteros viejos en los que se ha reducido, con el paso del tiempo, su alcalinidad; una alta alcalinidad evita el crecimiento del hongo en las juntas aunque puede desarrollarse sobre las superficie de los ladrillos. Los cuerpos de fructificación suelen aparecer sobre la superficie de mampostería y a menudo en localizaciones aparentemente alejadas de la madera atacada. Aunque el hongo no provoca daños sobre la mampostería se desarrolla rápidamente sobre ella y puede infectar a la madera que este en contacto con ella.



Figura A.6 Pudrición parda o cúbica.

b) Pudrición blanca o fibrosa:

Están producidas por hongos que se alimentan preferentemente de la lignina, aunque también en menor grado, de celulosa. La madera atacada toma un color blancuzco debido al complejo celulósico resultante (complejo de celulosa más o menos blanquecino que rara vez es de tono uniforme, sobre el que aparecen vetas blancas separadas por zonas de madera normal). La madera atacada presenta un aspecto fibroso, por lo que a veces se la llama pudrición fibrosa, figura A.7.

Generalmente afectan más a las maderas de frondosas que a las de coníferas, debido a que estas tienen un mayor contenido de lignina y a la preferencia por ciertas hemicelulosas presentes en las frondosas.

Las especies más frecuentes en este tipo de pudrición son las siguientes: *Schyzophyllum* commune F., *Polystictus versicolor* F. (o *Coryolus versicolor* Q.) en coníferas y frondosas, *Stereum hirsutum* W., *Eutypa flavo-virescens* F. y *Xylaria hypoxilon* G. en frondosas, figura A.8.

c) Pudrición blanda:

Estas pudriciones están originadas por hongos inferiores, cuyas hifas se desarrollan en el interior de la pared celular de las células de la madera y atacan principalmente la celulosa de la pared secundaria. La madera atacada tiene un aspecto final blando o esponjoso, parecido al de queso fresco.

Esta pudrición se produce cuando existen altas condiciones de humedad, tanto en el ambiente como en la madera. Cuando la madera atacada por una pudrición blanda se seca, su superficie se rompe formando muchos cubos pequeños. Su presencia se detectó por primera vez en las maderas utilizadas en torres de refrigeración, cuyas piezas tienen un contenido de humedad demasiado alto para que sean atacadas por los hongos de las pudriciones pardas o blancas.

Normalmente aparece en postes, vallas, piezas de madera en contacto con el suelo y no suelen tener una gran incidencia en la madera colocada en los edificios.





Figura A.8. Cuerpo de fructificación de hongos de pudrición blanca

Figura A.7 Pudrición blanca o fibrosa.

A.3 Insectos de ciclo larvario

Los insectos de ciclo larvario que se alimentan de la madera, pertenecen al orden de los coleópteros y vulgarmente se conocen bajo las denominaciones de carcoma, polilla y gorgojos según la familia. Existen géneros que se alimentan de madera de frondosas, otros de madera de coníferas y otros que pueden atacar indistintamente a ambas.

Los principales coleópteros xilófagos que actúan en España se especifican en el cuadro siguiente, en el que se detalla la familia, el nombre científico y el nombre vulgar:

Familia	Especies principales	Nombre vulgar
Anobiidae	Anobium punctatum De Geer	Carcoma
(Anóbidos)	Xestobium rufovillosum De Geer	
Cerambicidae	Hylotrupes bajulus L.	
(Cerambicidos)	Hespherophanes cinereus Villier Ergates faber L.	Carcoma grande
Lictidae	Lyctus brunneus Steph.	Polilla
(Lícitidos)	Lyctus linearis Goeze	T CHING
Curculionidae	Pselactus spadix H.	
(Curculiónidos)	Hexarthrum exiguum B. Amaurorrhinus bewickanus W.	Gorgojo
Bostrychidae	Apate capucina L.	
(Bostríchidos)	Sinoxylon sexdentatum L	
Platipodiae (Platipódidos)	Platypus cylindrus Reitt (Fabre)	
Scolitidae(Escolitidos)	Xyloterus lineatus Ol.	BEANNA SEALERS (STEIN) IN HER STORY IN THE TOTAL OF ANNUAL TOTAL CONTRACTOR OF A SEALERS AND A SEALE
	Xyleborus saxeseni L.	

Durante el cumplimiento de su ciclo de vida, los insectos cambian de forma originando el fenómeno conocido como «metamorfosis». Aquellos insectos que poseen una metamorfosis completa pasan por cuatro estados sucesivos de desamollo conocidos con los nombres de huevo, larva, pupa e insecto adulto o imago. El tiempo requerido para el cumplimiento de todos los estados se conoce como «duración de la generación», el cuál es diferente para cada especie. Los estados de huevo, pupa e imago son por lo general de corta duración y varían desde varios días hasta semanas; el tiempo más largo del ciclo de vida corresponde al estado larvario que es la etapa durante la cuál lleva a cabo la degradación de la madera para satisfacer sus necesidades alimenticias.

El ciclo biológico comienza cuando las hembras colocan sus huevos en lugares protegidos (fendas, ranuras, orificios, etc.). Los huevos son generalmente muy pequeños y no son visibles por el ojo humano. La hembra deposita los huevos a través del oviscapto, una especie de tubo que le permite depositarlos a cierta profundidad por debajo de la superficie de la pieza, figura A.9.

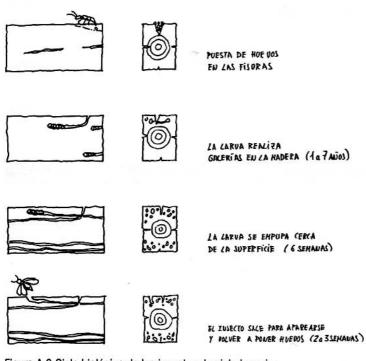


Figura A.9 Ciclo biológico de los insectos de ciclo larvario.

De estos huevos nacen pequeñas larvas que comienzan a alimentarse de los componentes de la madera (celulosa. lignina y otras sustancias), produciendo en ella orificios característicos a cada especie, que pueden llegar a afectar a la capacidad resistente de la pieza. El tiempo que las larvas permanecen en el interior de la madera puede durar desde unas semanas hasta más de 10 años. en función de la especiey de las condiciones de la pieza. La larva tiene un aspecto parecido a los gusanos y suele tener un color blanco o marrón claro. Normalmente son

muy pequeñas, pero en algunas especies pueden llegar a medir 40 mm de longitud. Tienen la cabeza quitinizada con unas mandíbulas para roer la madera. La mayoría de ellas dejan a su paso las galerías llenas con detritus de su alimentación.

Cuando la larva se aproxima al final de su ciclo de vida, se acerca a la superficie de la madera, crea una cámara especial totalmente aislada y se empupa. Durante un corto período de tiempo (período de empupación) la larva deja de alimentarse y se producen profundos cambios en su forma y estructura. La pupa se parece a un insecto adulto momificado de color amarillo pálido que está recubierto con una piel transparente y que se va oscureciendo según se va convirtiendo en insecto adulto.

Una vez que se ha completado el proceso de metamorfosis, el insecto adulto o imago rompe la fina película de madera de la cámara y sale al exterior. La forma y el tamaño del orificio de salida son característicos para cada insecto. La presencia de orificios de salida en la superficie de la madera indica que al menos ha vivido en ella una generación. La salida de los insectos se produce en la época de primavera. Los insectos adultos se aparean y la hembra vuelve a colocar los huevos en las fendas de las piezas de madera comenzando de nuevo el ciclo. Al estar dotado de alas el insecto puede volar y propagar el ataque a otras piezas de madera. Los insectos adultos son raramente detectables y normalmente mueren a las pocas semanas de haber salido de la madera.

El desarrollo de los insectos xilófagos está influenciado por las condiciones de vida como la temperatura y la humedad. El contenido de humedad de la madera condiciona hasta cierto grado la presencia de insectos, ya que algunos sólo atacan maderas secas, otros, maderas con

un alto contenido de humedad y por último, otros, maderas con cualquier contenido de humedad.

Los insectos no pueden regular la temperatura de su cuerpo, por tanto dependen de los cambios que se producen en el medio ambiente. Esta condición determina la existencia de valores óptimos de temperatura que son diferentes para cada especie. La temperatura juega un aspecto importante en la duración del ciclo de vida, tanto en el desarrollo de las larvas como en el comportamiento de los insectos adultos en aspectos tales como copulación, ovoposición, pupación y vuelo.

El ataque previo originado por los hongos de pudrición prepara la entrada y el ataque de algunos insectos xilófagos, como es el caso de los anóbidos que frecuentemente se asocian a ataques previos de pudrición.

Para la identificación de los insectos que han producido los daños, no es frecuente disponer de larvas o adultos, por lo que las claves utilizadas se basan en las señales dejadas en la madera como son las siguientes: forma y dimensiones de los orificios de salida; dirección de las galerías que perforan en el interior de la madera; tipo de detritus (o semín) que producen y su localización en el interior de las galerías. Además, la especie de madera y su contenido de humedad, ayudan en la determinación de las especies posibles.

A.3.1 Anóbidos (carcoma)

Los anóbidos son pequeños coleópteros de 3 a 9 mm de longitud conocidos vulgarmente como carcoma y son ataques característicos de los muebles antiguos; aunque también afectan a las piezas de la estructura. Hay especies especializadas en las maderas de conífera y otras en las maderas de frondosas. Por lo general, afectan a la madera de albura y preferentemente con cierto contenido de humedad.

Existía una creencia arraigada que relacionaba el ataque de estos insectos con las maderas antiguas y muy secas (Benito, 1952), pero esto no es exacto, sino que puede producirse en maderas nuevas con la misma o mayor frecuencia como se comenta más adelante.

Las especies más frecuentes en la construcción en España se citan a continuación.

Anobium punctatum De Geer

Recibe el nombre vulgar de carcoma y como se ha mencionado anteriormente es típico de los muebles antiguos, por lo que a veces se denomina como escarabajo de los muebles. Se alimenta principalmente de la madera de albura de las coníferas y de las frondosas europeas (roble y olmo). En muy raras ocasiones atacan a las frondosas tropicales. Algunas veces pueden atacar el duramen de la madera, sobre todo cuando la pieza presenta pudriciones. La presencia previa de la pudrición facilita su ataque, hasta el punto que es frecuente encontrar ambos daños juntos. También se ha detectado en tableros contrachapados con adhesivos de origen natural, pero los tableros de partículas y de fibras parecen ser inmunes (Bletchly, 1967).

El ataque se produce preferentemente cuando la madera presenta elevados contenidos de humedad.

Las larvas pueden alcanzar una longitud de 5 mm, son de color blanco cubiertas de pelo, tienen forma curva y presentan unas franjas negras que bordean su boca. Poseen, como todos los insectos, tres pares de patas, figura A.10.

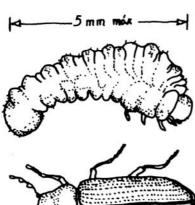
Las galerías son circulares con un diámetro aproximado de 2 mm y siguen cualquier dirección. A veces quedan al descubierto cuando la madera ha perdido sus zonas más externas. Las galerías están llenas de serrín en forma de gránulos con forma elíptica parecidos a diminutos limones (sólo visible con lupa), rugoso al tacto y queda suelto en el interior de las galerías. Está constitui-

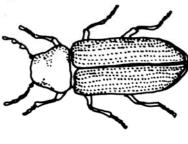
do por virutas de madera y excrementos, su granulometría es mayor que el producido por los líctidos, figura A.II.

Los orificios de salida son de forma circular con 1,5 a 2 mm de diámetro, aproximadamente. Son mayores que los de los líctidos y menores que los del Xestobium rufovillosum, figura A.12.

La duración de su ciclo biológico es muy variable, desde un mínimo de 8 meses hasta varios años; de forma general se puede estimar de 2 a 3 años. La hembra coloca sus huevos (de 20 a 40 por término medio) solitariamente o en grupos de hasta 15, en las fisuras o en las perforaciones realizadas por el insecto adulto al salir. El tamaño de los huevos es de 0,3 a 0,5 mm de diámetro. La humedad favorece su desarrollo y el óptimo de temperatura oscila alrededor de los 20 °C. La época de vuelo suele producirse entre abril y agosto, normalmente en junio y julio.

El insecto adulto alcanza una longitud de 3 a 5 mm y es de color marrón oscuro. Sus élitros están estriados con unas líneas de huecos de forma regular en forma de pequeños puntos, de los que recibe su nombre, figura A.13.





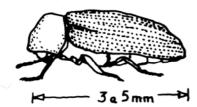


Figura A.10 Larva e insecto adulto del *Anobium punctatum*.





Figura A.11 Detalle de detritus y galerías. Viga atacada por anóbidos.





Figura A.12 Madera atacada por anóbidos.

Figura A.13 Detalle de élitros de anóbidos.

Normalmente no viven en madera situada al aire libre y expuesta a la lluvia. Los daños se concentran en los lugares de mayor humedad y reducida temperatura (sótanos, plantas bajas). Las cubiertas generalmente son poco atacadas, solamente se observan destrucciones importantes en regiones con una alta humedad ambiente (zonas de costa). El ataque en la carpintería interior de edificios con calefacción es relativamente escaso. El debilitamiento de las estructuras de madera es relativamente raro excepto en piezas de pequeñas escuadrías y en particular las que presentan altos contenidos de humedad. A pesar del reducido tamaño de las larvas, en el curso de unos años pueden originar una destrucción completa de objetos de madera.

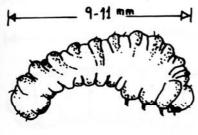
Xestovium rufovillosum De Geer

Es el anóbido de mayor tamaño que recibe como nombre vulgar, además de carcoma, el de «reloj de la muerte»; este nombre proviene del golpeteo que producen los insectos adultos en la época de apareamiento. Suele dar seis a ocho golpes seguidos sobre la superficie de la madera que después de una breve pausa vuelve a repetir).

Se alimentan de la madera de duramen y la de albura de las frondosas (principalmente el roble, el haya, el nogal y el olmo), que han sido atacadas previamente o parcialmente por los hongos de pudrición. En muy raras ocasiones atacan la madera de coníferas. Afectan a las maderas que tengan altos contenidos de humedad y con poca ventilación.

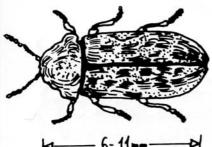
La puesta de las hembras es del orden de 200 huevos. La larva puede alcanzar una longitud de 9 a 1 l mm, están curvadas y tienen un color pardo-crema cubiertos de largos pelos dorados. Las galerías son circulares con un diámetro de 2 a 4 mm (aunque a veces pueden ser más grandes) y normalmente siguen la dirección de la fibra pero pueden tomar cualquier dirección. El serrín es basto, con un tacto arenoso cuando se frota entre los dedos, tiene forma de discos y permanece en el interior de las galerías. Es de mayor granulometría que el producido por los líctidos.

Los orificios de salida son de forma circular con un diámetro de 2 a 4 mm. El Insecto adulto alcanza una longitud de 6 a 1 l mm. Puede tener un color marrón-chocolate o blanco lechoso, figura A.14.



El ciclo biológico varía normalmente de 3 a 5 años, aunque en casos especiales puede llegar hasta 10 años. La época de vuelo se produce entre los meses de marzo y junio.

El ataque suele acompañar al de los hongos de pudrición cúbica o fibrosa y aparece con frecuencia en las zonas de empotramiento de piezas de madera con el muro.



Un dato curioso a destacar es que pueden existir muy pocos orificios de salida en la madera muy atacada en comparación con el número de galerías, lo que se explica por la posibilidad que tienen estos insectos de aparearse y poner huevos en el interior de las galerías sin necesidad de salir al exterior.

Figura A.14 Insecto adulto y larva del Xestobium rufovillosum.

A.3.2 Cerambícidos (carcoma grande)

Los insectos de la familia de los Cerambícidos son los insectos xilófagos de mayor tamaño que existen en España. Se conocen vulgarmente como carcoma grande y en su campo de actuación se encuentran las estructuras de madera, frecuentemente en cubiertas. En piezas antiguas es fácil observar algún orificio de salida de este insecto, aunque el ataque se encuentre inactivo. Por lo general sólo se alimentan de la albura de la madera con lo que en piezas de gran contenido de duramen el daño es limitado. Hay especies que se alimentan de conífera y otras de frondosas. Las más habituales en España son las que se describen a continuación.

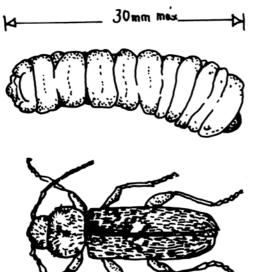
Hylotrupes bajulus L.

Es la especie de mayor importancia en la madera de construcción en Europa. Sus denominaciones vulgares en otros idiomas hacen referencia a las grandes antenas que tiene (house longhom beetle, capricorne des maison). Es frecuente su presencia en las armaduras de la cubierta. En edificios con cierta antigüedad (más de 70 años) lo normal es encontrar signos de ataques ya inactivos.

Se alimenta solamente de la madera de conífe-ras, las frondosas son inmunes. De forma general el daño se limita a la albura, aunque a veces también pueden atacar al duramen. La albura tiene un contenido de albúmina superior al duramen y por tanto mayor valor nutritivo. El envejecimiento de la madera está acompañado de un proceso de oxidación con modificaciones en la composición de la albúmina disminuyendo el contenido de vitaminas. Este es el motivo de que la madera antigua tenga menor riesgo de ataque que la madera nueva, aunque no se elimina por completo (López de Roma, 1985).

Por lo general el ataque de este insecto se da en maderas secas (entre el 10 y 14 %), en particular en las estructuras de cubiertas (Bletchly, 1967). Sin embargo, en algunas publicaciones se indican contenidos de humedad mucho más elevados (Benito, 1952); esta confusión se debe a que la mayoría de los cerambícidos ataca preferentemente maderas verdes.

La larva puede alcanzar una longitud de 30 mm, tiene un diámetro de 6 mm y es de color blanco plateado, figura A.15. Las galerías son de forma ovalada, siguen la dirección de la fibra, están taponadas por serrín y presentan marcas o estrías en las paredes de las mismas, figura A.16. El serrín es basto, tiene forma cilíndrica y no es expulsado al exterior, ya que las galerías



están cerradas por una fina película de madera que las larvas dejan intacta. Está compuesto de virutas de madera y de excrementos.

El insecto adulto tiene una longitud de 10 a 20 mm, suele ser de color negro o marrón oscuro y en el tórax presenta sobre cada una de las alas una mancha grisácea característica, figura A.17. Los orificios de salida tienen forma elíptica con un diámetro de 6 a 10 mm.

La duración del ciclo de vida varía mucho, oscilando entre 2 y 10 años, normalmente es de 4-6 años; también se han observado en España, plazos mucho más largos en madera con elevado grado de humedad llegando a 14 años (Rodríguez B., 1998). La época de vuelo y apareamiento se produce entre los meses de junio a agosto o julio a septiembre.

El primer ataque (primera generación) no suele tener importancia para la capacidad portante de los elementos de madera, a

Figura A.15 Insecto adulto y larva de *Hylotrupes bajulus*.

10 a 20mm.



Figura A.16 Madera atacada por *Hylotrupes bajulus*. Arriba: pieza con las galerías descubiertas. Arriba dcha.: pieza con orificios de salida y galerías de poca profundidad. Abajo: detalle cercano de la galería con estrías





pesar de que ponen sus huevos en grandes grupos. Esta situación cambia por completo cuando aparece la segunda generación, ya que la población se puede multiplicar desde 40 hasta 200. Su ataque se suele localizar en las cubiertas y tejados. No es fácil de descubrir en la segunda generación porque los orificios de salida no son numerosos. Una pieza de madera que aparentemente tiene un buen aspecto puede tener en su interior numerosas galerías. La existencia del ataque puede detectarse por el ruido que hacen las larvas al perforar las galerías o por el que producen los insectos adultos al realizar los orificios de salida.



Figura A.17 Insecto adulto de Hylotrupes bajulus.

Hespherophanes cinereus Vill.

Especie que se alimenta de la albura de las maderas de frondosas como el roble, nogal y chopo. Las galerías de las larvas siguen la dirección de la fibra, son de sección oval y también presentan estrías en sus paredes, como el Hilotrupes bajulus. El semín está constituido por pequeños restos de madera y excremento de 0,8 x 0,5 mm, y es de color amarillo claro. Los orificios de salida tienen forma ovalada con diámetro de unos 12 mm. El insecto adulto tiene una longitud de 13 a 24 mm, es de color marrón rojizo y presenta una pubescencia de color gris sobre los élitros que le da un aspecto marmóreo. La duración del ciclo de vida es de 3 a 4 años. La época de apareamiento es de julio a septiembre.

Ergates faber L.

Este insecto ataca la albura de la madera de conífera, preferentemente húmeda. Suele causar daños en los postes de teléfonos y de líneas eléctricas. En algunos casos destruye totalmente la zona de albura del poste, especialmente en la zona comprendida entre el empotramiento y un metro por encima del nivel del suelo.

Las galerías son de sección ovalada con un diámetro de 15 mm que aparecen llenas de serrín basto. El insecto adulto tiene una longitud de 25 a 30 mm en los machos y de 50 mm en las hembras.

A.3.3 Líctidos (polilla)

Los líctidos son insectos de pequeño tamaño (6 a 8 mm de longitud) que se conocen vulgarmente como polillas. En España únicamente se han detectado dos especies (*Lyctus brunneus y Lyctus linearis*). Se alimentan de madera de albura de frondosas que cumplan además ciertas condiciones, como un diámetro mínimo de los vasos de 0,05 mm para permitir la entrada del oviscapto de las hembras y un contenido de almidón superior al 1,5 %. Entre las especies que cumplen estas condiciones se encuentran el roble, el fresno y el olmo. No atacan al haya y el chopo.

El daño más frecuente producido por estos insectos se da en los pavimentos de parquet de madera de roble, afectando a las piezas que contienen albura, figura A.18. En piezas estructurales es menos frecuente su ataque.

Al igual que ocurre con los cerambícidos, con el paso del tiempo el valor nutritivo de la madera disminuye con el tiempo y el riesgo de ataque se reduce (López de Roma, 1985).

Lyctus brunneus Steph.

Ataca, como se ha comentado anteriormente a la albura de algunas especies frondosas de vasos grandes y con cierto contenido de almidón. Se adapta a un amplio intervalo del contenido de humedad en la madera que varía desde el 7 % hasta el 30 % y a temperaturas de hasta $30 \, ^{\circ} \mathrm{C}$ (Bletchly 1967). Sin embargo las condiciones óptimas corresponden a un contenido de humedad de alrededor del $16 \, \%$ y una temperatura de $25 \, ^{\circ} \mathrm{C}$.

Las hembras colocan los huevos, aproximadamente unos 70, en las grietas y los poros de la madera. El tamaño de la larva puede llegar hasta 6 mm, suelen estar encorvadas y tienen un color blanco-crema, figura A.19.



Figura A.18 Piezas de tarima de roble atacadas por líctidos (Lyctus brunneus).

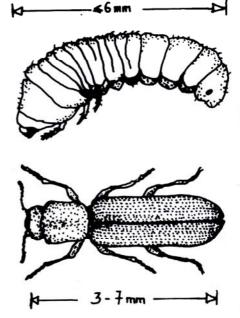


Figura A.19 Insecto adulto y larva de Lyctus brunneus.

Las galerías siguen la dirección de las fibras, aunque en las fases finales pueden seguir cualquier dirección. El serrín que producen es muy fino, de color blanco cremoso; su tacto se asemeja a la harina o al polvo de talco y suele estar apretado por la larva en las galerías. A veces aparece en el suelo en pequeños montones justo de bajo de los orificios de salida. Al agitar las piezas de madera el serrín sale con facilidad.

Los orificios de salida tienen forma circular con un diámetro aproximado de 1 a 2 mm. El insecto adulto tiene un tamaño cuya longitud varía entre 3 y 7 mm; su color es marrón rojizo, figura A.20.

La duración del ciclo biológico es de un año, pudiéndose acortar si existen altas temperaturas. Los insectos perfectos emergen del interior de la madera en marzo-abril o bien en octubre-noviembre. La brevedad de su ciclo biológico permite sucesivas infestaciones que pueden originar una rápida destrucción de la madera.

Lyctus linearis Goeze

Esta especie es autóctona de Francia (Rodríguez B., 1998) y también se acepta como indígena en el Reino Unido (Bletchly, 1967), en España se presenta principalmente en Cataluña y se diferencia del *Lyctus brunneus* porque presenta unas hileras de pelillos en los élitros de los insectos adultos.



Figura A.20 Insecto adulto de Lyctus brunneus y orificios de salida.

A.3.4 Curculiónidos (gorgojo de la madera)

Hasta hace unos veinte años este insecto no comenzó a identificarse en la madera de construcción en España; los signos de su ataque pueden confundirse fácilmente con el de los anóbidos.

En España se han identificado tres especies en madera de edificios antiguos (*Pselactus spadix* H., *Hexarthrum exiguum* B. y *Amaurorrhinus bewickianus* W.) (Rodríguez T., 1985).

Atacan a la madera de albura de las frondosas y las coníferas. Cuando existen ataques previos de hongos pueden afectar a la madera de duramen. Requieren una humedad en la madera mayor o igual al 20 %. Algunas fuentes se refieren a estos insectos como xilófagos indirectos indicando que sólo atacan la madera semidescompuesta y transformada previamente por la acción de los hongos de pudrición (Rodríguez T., 1985) y si la madera se seca el ataque desaparece.

Las larvas son curvadas y de color blanquecino; pueden confundirse a simple vista con las de los anóbidos, pero se diferencian de ellas por carecer de patas torácicas, figura A.21. Las galerías que realizan las larvas (y también los insectos adultos) en la madera de albura son de sección circular y son similares a las de los anóbidos. En algunas especies se cita que a veces las galerías se asoman a la superficie. El serrín que producen es parecido al de los anóbidos pero algo más fino y de forma heterogénea.

Los orificios de salida son de forma circular con un diámetro de 1 a 2 mm. La duración del ciclo biológico en algunas especies es de 1 año, y en otras como la Pentarthrum huttoni (Reino unido) llegan a vivir dos años de los cuales 16 meses se encuentran como adultos después de su salida de la madera.



El insecto adulto tiene la cabeza prolongada con un largo morro o trompa que presenta unas antenas en su parte media, figura A.22. Son insectos cilíndricos, de color marrón oscuro y pequeños, de 3 a 5 mm de longitud. Dentro de la misma madera pueden convivir varias especies.

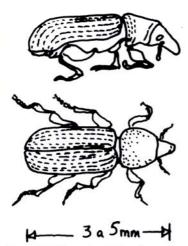


Figura A.21 Insecto adulto y larva de curculiónido.



Figura A.22 Insecto adulto de curculiónido.

Pselactus spadix Herbst. (Codiosoma sapadix Herbs.)

Este insecto ya era citado en España en el siglo XIX. La larva y los daños producidos son similares a los de los anteriores. El insecto adulto tiene una longitud de unos 3 mm y es de color marrón-negro.

Hexartrum exiguum Boh. (Rhincolus culinaris L.)

Se ha encontrado en la zona central de España (Segovia, Madrid). La larva es similar a la A. bewickiamus. y el insecto adulto tiene una longitud de unos 3 mm y es de color castaño oscuro. Afecta a la madera de frondosa.

Amaurorrhinus bewickiamus Woll.

Ha sido citado en Madrid, zona mediterránea e Islas Canarias. La larva tiene forma curva, es de color rosa pálido y no presenta patas torácicas como los anóbidos, líctidos y bostríchidos. El insecto adulto tiene una longitud de 2,5 mm y es de color marrón oscuro. Afectan a la madera de frondosa (roble y olmo principalmente) preferentemente si tienen pudriciones previas.

A.3.5 Bostrichidos

Estos insectos se alimentan principalmente de la madera de albura de las frondosas (tropicales principalmente) con alto contenido en almidón y con cierto grado de humedad. En España la especie que produce más daño es el Apate capucina L., que ataca a las frondosas boreales, castaño, chopo y roble.

Apate capucina L. (Bostrychus capucina L.)

Afectan principalmente a los pavimentos de parquet de madera de roble, sobre todo si presenta un cierto contenido de humedad.

Realizan galerías circulares con diámetros de 3 a 6 mm. Las galerías suelen estar muy próximas entre sí y separadas por membranas muy finas. Pueden producir dos tipos de galerías: las maternas (realizadas por los insectos adultos, siguen la dirección perpendicular a las fibras y están limpias de serrín) y las producidas por las larvas (siguen la dirección de la fibra y están llenas de serrín de fina granulometría).

El serrín es muy fino, parecido a la harina, de color crema y se encuentra aprisionado en el interior de las galerías. El insecto adulto tiene una longitud de 4 a 6 mm y tienen el cuerpo cilíndrico y de color marrón; tienen antenas características y su cabeza suele estar achatada, figura A.23. Los orificios de salida son circulares con diámetros de 3 a 6 mm.

La duración del ciclo biológico es aproximadamente un año. La época de vuelo del insecto adulto se produce a finales de la primavera o principios de verano. Son insectos de hábitos noctumos a los que atrae la luz artificial.

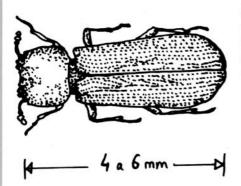


Figura A.23 Insecto adulto de Apate capucina.

Sinoxylon sexdentatum Oliv.

Es un insecto menos frecuente en España que ataca la albura de la madera de frondosa, principalmente el roble. El tamaño de los adultos es de 4 a 6 mm. El ciclo biológico es de uno a tres años.

A.3.6 Escolíticos y platipódidos (escarabajos de ambrosía)

Estos insectos no actúan en la madera puesta en obra sino que sólo atacan a los árboles en pie a punto de secarse o recién abatidos. No obstante es útil conocer el tipo de daños que producen ya que se pueden ver en la madera colocada en obra, con el fin de no confundirlos con otro tipo de ataque. Una vez seca la madera la utilización de la madera atacada con presenta ningún riesgo y no requiere ni siquiera un tratamiento de protección.

Son pequeños insectos con una longitud variable según la especie de 3 a 5 mm, que pueden confundirse con los bostríchidos, figuras A.24 y A.25. Las hembras horadan galerías de sección circular con diámetro de 0,5 a 3 mm, en la albura (en algunos casos pueden penetrar ligeramente en el duramen) de la madera de frondosas o coníferas, donde realizan la puesta; estas se denominan galerías maternas. El macho expulsa el serrín de la perforación al exterior. En ellas introducen esporas de hongos de ambrosía, de los que se alimentarán las larvas. Las esporas germinan con un contenido de humedad superior al 20 % y en presencia de sustancias de reserva. Las larvas se desarrollan y realizan otras galerías de menor longitud.

Las larvas tienen una longitud de 4 a 6 mm, son de color blanco y no tienen patas. El insecto adulto puede alcanzar una longitud de 3 - 7 mm y tiene un color marrón-rojizo.

Cuando la madera se seca los hongos mueren y el insecto debe buscar otro refugio. En la madera puesta en obra las señales de estos ataques consisten en galerías con diversas disposiciones y con las paredes oscurecidas por el ennegrecimiento de los hongos al secarse. Los orificios de entrada y de salida de los insectos perfec-tos son de forma circular, y varían en diámetro, según las especies, de 0.5 a 3.2 mm.

Las galerías producidas por los escolítidos se clasifican en los siguientes tipos:

Escaleriformes: la hembra realiza una galería en dirección perpendicular a la fibra donde realiza la puesta, y las larvas horadan otras más pequeñas en dirección normal a la materna, figura A.26.

Familiares: la hembra realiza una galería en la dirección perpendicular a la fibra que termina en un ensanchamiento irregular, que posteriormente es ampliado por las larvas o es punto de partida de las galerías larvarias.

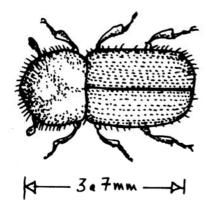


Figura A.24 Insecto adulto de escolítido.

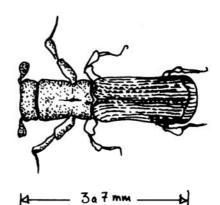


Figura A.25 Insecto adulto de platipódido.

Bifurcadas: situadas en un mismo plano o varios

Las galerías de los platipódidos son realizadas por la hembra que penetra en el tronco del árbol siguiendo la dirección radial, cuando llega a la madera de duramen cambia su trayectoria y sigue una dirección transversal que coincide, aproximadamente, con la dirección de los anillos de crecimiento dentro del mismo plano. El macho sigue a la hembra y su misión principal es expulsar el serrín de la galería.



Figura A.26 Galerías de escolítidos.

A.4 Insectos sociales (termitas)

El origen de la palabra termitas proviene de la palabra griega «terma», cuyo significado es «el fin», posteriormente los romanos la adaptaron como «termes - termitis»; de esta raíz del genitivo «termit» se derivaron todas las posteriores denominaciones utilizadas en la mayoría de los países europeos; les termites, en francés, i termiti, en italiano, the termites, en inglés y die termiten en alemán. Linneo fué la primera persona que utilizó el vocablo «termes», en 1758, en su «Systema Naturae». Las primeras reseñas históricas sobre las termitas proceden de Plinio el Viejo, que en el siglo I, equivocadamente las denominó «hormigas blancas» en su «Naturalis Historia» (Benito, 1963).

Se conocen aproximadamente 2.800 especies de termitas, la gran mayoría de ellas se encuentran en las zonas tropicales y solamente unas 70 - 80 tienen una influencia económica negativa. La gran mayoría de las termitas son beneficiosas para el suelo al descomponer la materia orgánica, reciclando los nutrientes de las plantas, a la vez que mejoran su aireación y drenaje.

A.4.1 Características de las termitas

Las termitas se parecen físicamente mucho a las hormigas, pero presentan diferencias significativas y se suelen diferenciar de éstas por su diferente anatomía.

El estado de las termitas es una agrupación de individuos en la que los distintos tipos o castas, incapaces de vivir solitariamente, desempeñan diferentes cargos o funciones en el desarrollo de la colonia. La adaptación extrema del individuo a su cargo ha producido diferencias morfológicas considerables. El ciclo de vida de una colonia empieza con el vuelo, en forma de enjambre, de los individuos sexuados, que en ciertos días del año salen en gran cantidad del antiguo nido. Los individuos que constituyen una pareja buscan un lugar apropiado para el futuro nido, abriendo una cavidad (cámara nupcial) en la que realizan la copulación. Los huevos que pone la hembra (en adelante reina) se convierten en ninfas que según las necesidades de cada momento pueden dar lugar a castas o individuos morfológicamente distintos:

- Individuos sexuados: distinguiéndose las parejas reproductoras, tanto la pareja real fundadora como las secundarias (individuos neoténicos), que aparecen posteriormente y que tienen la misión de aumentar la población de la colonia; y los individuos alados reproductores, que pueden abandonar el nido y crear otros nuevos.
- Soldados: individuos con mandíbulas grandes, también hay formas especiales que están armados con una glándula que produce una secreción pegajosa. Su misión es la defensa de la colonia.
- Obreros: generalmente de forma poco especializada. Su misión es realizar todos los trabajos de la comunidad: buscar alimento, alimentar a los demás individuos de la colonia, cuidar a la pareja real y construir, reparar y limpiar el nido.

La primera puesta de huevos procedente de una pareja de individuos alados reproductores, de la que tan sólo nacen obreros, es indispensable para la construcción del nuevo termitero. Durante ese período la reina sólo se dedica a poner huevos (10.000 huevos/día). En las primeras etapas el desarrollo de la colonia es muy lento, en el primer año sólo existen algunos obreros; los prime-ros soldados suelen aparecer, normalmente, en el segundo año. Posteriormente aparecen las parejas secundarias o neoténicas que ayudan al incremento de la población (100 huevos/día) y que en el caso de que la reina desapareciera sería sustituida de forma casi inmediata por otro de los individuos sexuados. Las reinas pueden vivir de 10 a 80 años. La velocidad de desarrollo de la colonia se incrementa según va aumentando el número de

individuos, a veces se lo ha comparado como un alud; una colonia normal puede estar constituida por más de un millón de individuos. Cuando una colonia se aleja mucho de su nido central y si encuentra un sitio favorable es capaz de establecer una colonia satélite (esta forma de actuación es típica de la especie *Reticulitermes lucifugus*). Una vez al año, generalmente en la primavera, los individuos sexuados alados se alejan del nido mediante un vuelo corto que raramente excede de un centenar de metros. La mayor parte muere durante este vuelo, las parejas que sobreviven son capaces de crear una nueva colonia.

El desarrollo de los individuos se desarrolla por mudas sucesivas. En el transcurso de su vida pueden desprenderse de 6 a 10 veces de su caparazón de quitina para constituir uno nuevo más amplio que les permita seguir creciendo. Las termitas están con frecuencia lamiéndose unas a otras, sobre todo en la época de muda. En ese período las obreras ayudan a los demás individuos de la colonia a desembarazarse de sus tegumentos que una vez eliminados les sirven también de alimento. La pareja real ejerce una atracción especial para el resto de la colonia, que les lamen continuamente a la vez que les alimentan a través de la saliva que segregan. Su cuerpo no está pigmentado por lo que siempre huyen de la luz, la insolación directa mata a los obreros y soldados.

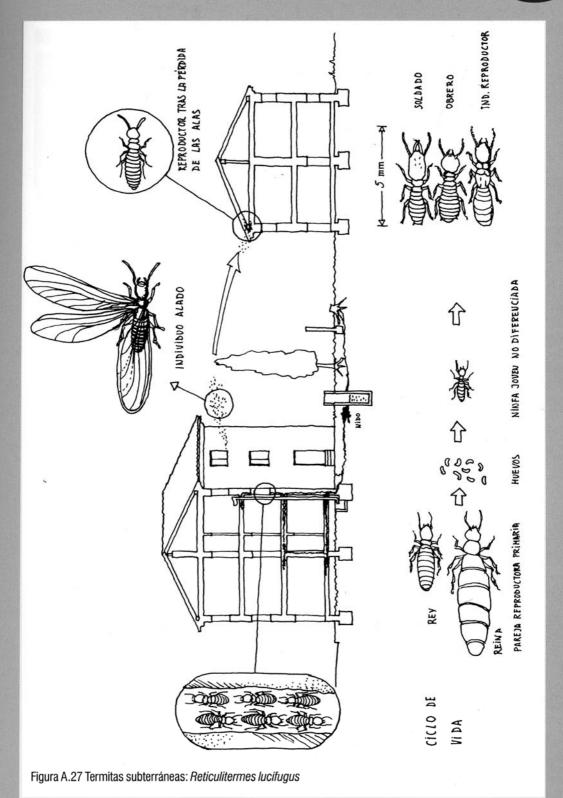
La alimentación de la colonia es muy complicada. Los obreros descomponen la celulosa de la madera mediante bacterias flageladas del tubo digestivo, que transforman la celulosa en azúcares asimilables y alimentan al resto de la colonia. Este intercambio alimenticio se denomina trofalaxia. Una característica curiosa es que devoran a los individuos muertos y a los mutilados. También se pueden alimentar de papel y de tejidos, y en su camino para llegar a las fuentes alimenticias pueden provocar daños a otros materiales que obstruyan su camino, como los materiales plásticos. A veces construyen canales o tubos, fabricados con saliva, excrementos o partículas de tierra o de madera que les permites salvar cualquier tipo de obstáculos; estos tubos pueden estar adosados a muros de mampostería o estar colgados del techo. Excepto los individuos sexuados, las termitas (obreros y soldados) son ciegos. Su orientación por olfato, localizado en las antenas, está muy desarrollada. Los individuos dejan gotas de un compuesto sobre el terreno (feromonas) que muestran el camino hacia las fuentes de alimentación a los otros obreros.

Desde el punto de vista de la degradación de la madera, las termitas pueden clasificarse en los siguientes grupos, junto con las especies que actúan en España:

- Termitas subterráneas: Reticulitermes lucifugus Rossi en la península y Baleares.
- Termitas de madera seca: Criptotermes brevis Walker en Canarias y Kalotermes flavicollis Fabr.
 Esta última especie presenta daños de escasa importancia para la madera de construcción, ya que sólo viven en árboles de frondosas enfermos y sus colonias son poco numerosas.

A.4.2 Reticulitermes lucífugus Rossi

El nombre de lucífugus hace referencia a que, como se ha comentado anteriormente, evitan la luz. La bandada nupcial se realiza a final de la primavera, en el mes de mayo y a veces en abril, aunque esporádicamente puede haber bandadas en el verano. Durante el vuelo pierden temporalmente su carácter lucífugo y vuelan hacia la luz. El vuelo es relativamente corto, apenas alcanza unos centenares de metros, y una vez finalizado pierden las alas, se aparean y abren en la tierra una pequeña cavidad. El nuevo nido tarda mucho en desarrollarse. Su nido principal está en el suelo y casi siempre fuera de los edificios atacados, a través de él entran subterráneamente en las casas en donde pueden formar nidos secundarios. La tierra les aporta los tres



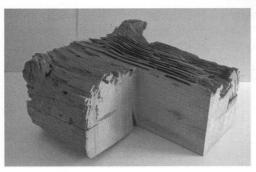




Figura A.28 Daños originados por termitas: aspecto de hojas de libro.

elementos indispensables para su supervivencia: la oscuridad, una temperatura moderada relativamente constante y una humedad permanente. Aprovechan pequeños rincones húmedos de muros y paredes o las cavernas ya producidas en la madera atacada (especialmente en las cabezas de vigas o detrás de zócalos) y una vez en la casa pueden interrumpir su comunicación con el nido principal, sin perjuicio para el desarrollo de la colonia en su nido principal, figura A.27.

La acción de las termitas depende en gran medida del calor y de la humedad. Su óptimo de temperatura se encuentra alrededor de los 30° C, con temperaturas inferiores a 2 grados no hay ningún movimiento. Para su desarrollo necesitan un cierto grado de humedad en el suelo y un elevado porcentaje de humedad relativa del aire (para su plena actividad necesitan una humedad relativa del aire del 95 al 100 %, es decir el aire está prácticamente saturado). Durante su actividad se procuran constantemente de tierra húmeda y la pegan en los canales que construyen o en las galerías que practican en la madera para garantizar la conservación de la humedad. Si el contenido de humedad de la madera es excesivo, por ejemplo en la madera colocada en los sótanos, no la atacan; este hecho se ha podido comprobar en maderas que presenta ataques de curculiónidos (que requieren mucha humedad en la madera) y que no están atacadas por las termitas. Las termitas suelen empezar a degradar la madera que se encuentra en la planta baja (forjados del techo y del suelo) y pueden compaginar su degradación con la que producen los hongos de pudrición.

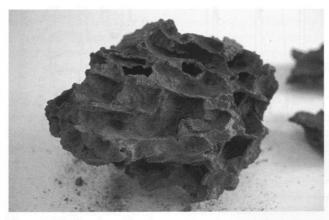


Figura A.29 Nidos de resistencia.

En la madera abren galerías paralelas a la dirección de las fibras, dejando una capa exterior intacta que les oculta del exterior. La posible explicación de esta forma de ataque radica en que es más fácil alimentarse de la madera blanda de primavera, y por lo tanto dejan intacta la madera más dura formada en verano. El espesor de esta capa superficial es muy reducido de *l* a 2 mm. Los daños son muy característicos dejando entre las

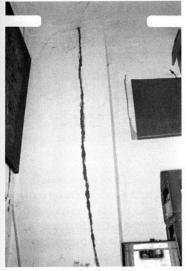


Figura A.30 Conductos de paso de termitas.

galerías verdaderas tiras de madera sin atacar, con lo que adquiere el aspecto de «hojas de libro», figura A.28. En ocasiones aparecen en el interior de la madera nidos de resistencia que se asemejan a masas de barro, figura A.29. No atacan la madera o los elementos de madera móviles como hojas de puerta y de ventanas, y en muy raras ocasiones atacan a los muebles.

En ciertos casos construyen tubos o canales de pequeño diámetro (1-2 mm) y de pared gruesa, constituidos por deyecciones aglomeradas por una substancia de secreción y tierra, que se endurece rápidamente al contacto con el aire, figura A.30. Estos tubos o canales sirven como vías de paso de una pieza de madera a otra y en ellos se man-tiene un alto grado de humedad necesario para su supervivencia. La rapidez de su trabajo depende mucho de la humedad, objeto y tamaño de las colonias. Normalmente necesitan varios años para alcanzar destrucciones que son peligrosas para un edificio. No obstante, existen casos en los cuales 2 o 3 años han sido suficientes para

ponerlo en grave peligro. La destrucción relativamente lenta de las vigas no permite detectar su degradación hasta que se empiezan deformarse por flexión. También pueden observarse antes del hundimiento, grietas en los revoques o una inclinación anormal del suelo.

A.4.3 Criptotermes brevis Walker.

El *Criptotermis* suele formar sus nidos en la madera seca de las casas, se han encontrado ataques en muebles, armarios, marcos de cuadros, vigas de cubierta, etc.; no se han encontrado ataques en árboles muertos ni en tocones. Las bandadas nupciales son muy esporádicas y se producen en el verano a última hora de la tarde y al principio de la noche. El alcance del vuelo es de mayor amplitud que el del *Reticulitermes lucifugus*. La pareja real es atraída por la luz, que es el principal motivo de su introducción en las casas. Una vez que se desprenden de las alas, la pareja se introduce en la estructura o elemento de madera, elegida para su futuro nido, perforando directamente la madera o entrando por las fisuras o fendas que presente; se aparean y empieza el desarrollo de la colonia. El desarrollo es muy lento, la reina sólo pone de *l* - 2 huevos/día y la colonia no suele ser muy numerosa, rara vez llegan a unos miles de individuos, el número habitual de individuos es de *l* 00 a 250.

Sus necesidades de humedad corresponden a un contenido de humedad de la madera del 15 %, que es el límite máximo para su ataque. La señal típica de su ataque es la falta de aglomerados en las galerías que practican. Las perforaciones de entrada están siempre tapadas por una secreción que forma una película fina, quedando así el orificio casi invisible.

Es bastante difícil localizar sus nidos, solamente se nota su trabajo por sus excrementos, pequeñas formas cilíndricas alargadas con las aristas redondeadas que arrojan en cavidades antiguas en donde ya no vive la colonia o al exterior a través de orificios. La madera atacada presenta en su interior cavidades o cámaras unidas entre sí por tuneles de sección circular con un diámetro que permite el paso del cuerpo de las termitas. Las deyecciones que arrojan en las cavidades abandonadas son muy abundantes, se parecen a pequeñas semillas, tienen un tamaño va-riado y son de color pardo, similar en general al de la madera atacada. Estas

deyecciones están constituidas por madera parcialmente digerida y suelen estar agrupadas formando pequeños montones o esparcidas por el suelo o en piezas adyacentes. Si se sacude la madera producen un sonido parecido al de un sonajero. Es bastante frecuente que existan colonias aisladas, por ejemplo dentro de un mueble o en el marco de un cuadro.

El aspecto del ataque en la madera degradada es similar al del *Reticulitermes*, pero en este caso se realiza por las ninfas procedentes de las larvas, que no se convierten en obreras sino que se mantienen en ese estado de ninfas. Posteriormente algunas ninfas se convierten en soldados, pero la gran mayoría se transforman en individuos sexuados alados.

A.4.4 Kalotermes flavicollis Fabre

Esta especie vive en los árboles principalmente en los paseos con ramas cortadas lo que facilita la formación de los nidos. Sus daños son reducidos y sólo alcanza cierta importancia en cultivos de árboles frutales, alcornoque o vid. Forman los nidos en la madera y realiza galerías que tapa con un aglomerado de un material menos resistente que el de las termitas subterráneas. Las colonias constan de pocos individuos y raras veces pasan de mil por lo que los daños suelen ser localizados (Kraemer, 1958).

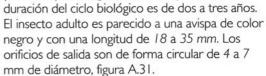
A.5 Otros insectos

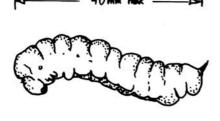
En este apartado se incluyen otros insectos pertenecientes al orden Hymenoptera cuya importancia es, relativamente, menor para la madera utilizada en edificios o en la construcción.

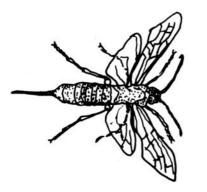
A.5.1 Sirícidos (avispa de la madera)

Son insectos parecidos a las avispas que atacan a los árboles de coníferas enfermos o recién cortados. La madera procedente de estos árboles puede incorporarse posteriormente a los edificios y las larvas que han introducido pueden emerger posteriormente como adultos. Sin embargo no pueden volver a infestar la madera seca.

Las larvas realizan galerías de sección circular con diámetros de 4 a 7 mm de grandes longitudes (20 a 45 cm). Durante el aserrado de la madera se pueden poner de manifiesto las galerías, aunque son difíciles de ver ya que se encuentran llenas de serrín muy apelmazado. Los adultos vuelan en el intervalo de junio a octubre. Las hembras efectúan un taladro en la madera verde donde dejan los huevos mediante el oviscapto a una profundidad de unos 19 mm. Las larvas pueden alcanzar una longitud de hasta 40 mm, tienen forma cilíndrica, son de color pálido crema, presenta una punta negra en la parte posterior y una segmentación muy marcada. La







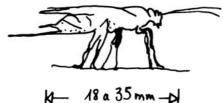


Figura A.31 Sirícidos: Sirex gigas.

A.5.2 Xilocópidos (abeja carpintera)

Este insecto recibe el nombre vulgar de abeja carpintera y no es propiamente xilófago, ya que la madera no constituye su principal fuente de alimento. Afectan a la madera sana o ligeramente degradada de coníferas y frondosas de troncos de árboles, madera estructural y postes de transmisión. El insecto adulto hembra perfora galerías de 10 a 15 mm de diámetro en la pieza de madera siguiendo la dirección de la fibra. La longitud de las galerías puede llegar hasta 45 cm. Dentro de las galerías construyen celdas con una especie de ceras, y en cada celda depositan un huevo junto con una bola de polen que servirá posteriormente de alimento a la larva.

El insecto adulto normalmente se identifica como una abeja de color negro, con un tamaño de 20 a 25 mm y un color negro, cuyas alas tienen un reflejo violáceo. El insecto es inofensivo a no ser que se sienta en peligro. Los orificios de salida son de forma circular con diámetros de 10 a 15 mm. Tienen tendencia a volver a la misma pieza de madera.

A.6 Xilófagos marinos

La madera en contacto con el agua del mar puede sufrir degradaciones a causa de las algas, bacterias, hongos y algunos invertebrados marinos (moluscos y crustáceos). Las algas producen cambios de la coloración y una disminución de la resistencia; las bacterias pueden ocasionar importantes daños en la madera sumergida; los hongos se desarrollan en las zonas de la pieza situadas al nivel de la marea alta preferentemente en las zonas en contacto con metales.

Los daños más importantes son los producidos por los moluscos y los crustáceos. Se diferencian entre sí, además de sus diferencias anatómicas, por la forma del ataque y el aspecto que presenta la madera degradada. Los moluscos realizan una degradación en el interior de la madera que no suele ser visible; mientras que los crustáceos realizan una degradación superficial que siempre es visible desde el exterior. Los factores que más influyen en su desarrollo son el contenido de oxígeno, la temperatura y la salinidad del agua.

Afectan a la madera de albura y duramen de las especies coníferas y frondosas de las embarcaciones, puertos y muelles.

A.6.1 Moluscos xilófagos

En España sólo presentan cierta importancia la familia de los Teredinidos y principalmente el género Teredo. Linneo los denominó «calamitas navium» debido al gran daño que producían en los barcos.

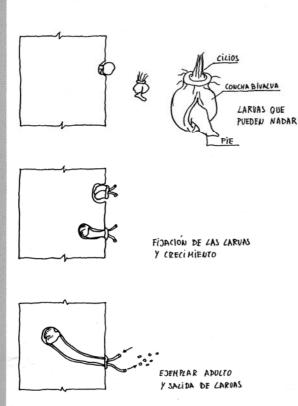


Figura A.32 Moluscos xilófagos: Teredo.

Tienen un cuerpo vermiforme de 25 a 30 cm de longitud con un grosor variable entre los 5 y 12 mm, figura A.32. Son hermafroditas y tras la puesta de los huevos y su fecundación se desarrollan unas larvas que son expulsadas al exterior desde las cámaras branquiales. En el mar nada gracias a unos cilios que pierden en un plazo de 30 a 40 días, de forma que necesitan adherirse a cualquier objeto. Si quedan fijados a una madera reptan hasta encontrar un lugar adecuado para penetrar en ella. En ese momento se fijan mediante una sustancia viscosa que se endurece con el agua. A partir de este momento inicia un orificio de 0,5 a 1 mm de diámetro para realizar una galería que puede alcanzar un diámetro de 10 a 12 mm. Las galerías se inician en dirección perpendicular a la fibra y posteriormente se disponen en dirección paralela. Las paredes de las galerías aparecen recubiertas de una capa caliza.

El teredo utiliza la madera como cobijo y como alimento junto con sustancias

orgánicas disueltas en el agua. Sólo actúa en aguas transparentes. La degradación que producen no es visible desde el exterior. Suele ser bastante difícil determinar el grado de destrucción por el aspecto exterior de la madera, hasta el extremo de que maderas aparentemente sanas se rompen de repente. La cuantía de los daños varía con la especie de madera, especie de molusco, intensidad del ataque, abundancia de materia orgánica en el agua; así como con la temperatura y la salinidad de ésta.

Las principales especies presentes en España son:

- Teredo navalis L., se presenta en el mar Mediterráneo.
- Teredo norvegica Spen., se presenta en el Atlántico.
- Teredo pedicellata Quat, se presenta tanto en el Mediterráneo como en el Atlántico.

A.6.2 Crustáceos xilófagos

Su aspecto es como el de las cochinillas y presenta 7 pares de patas, suelen ser pequeños, alargados, planos y de color pardo amarillento. Tienen tendencia a enrollarse formando una bola, figura A.33. Se diferencian de los moluscos en que no se encuentran aprisionados en el interior de la madera, sino que pueden moverse libremente en su interior. El macho fecunda a la hembra en el interior de la madera.

La degradación que producen es visible exteriormente y es muy diferente a la causada por los moluscos. Actúan en masa (una madera con una gran infestacción puede tener de 300 a 400 individuos) y su fuerza destructora puede ser extraordinaria. Su actividad está muy influenciada

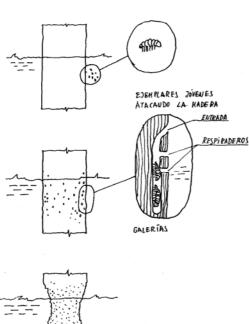


Figura A.33 Crustáceos xilófagos: Limnoria lignorum.

AVANCE DEL DETERIORO.

por la temperatura del agua de mar, la salinidad del agua y la concentración de oxígeno. Abren galerías con lon-gitudes inferiores a 1 cm y con diámetros de 2 mm y dejan la madera prácti-camente cribada (tienen el aspecto de un panal). Los finos tabiques de separa-ción de las galerías se rompen con el impacto del agua quedando al cabo de un cierto tiempo formada una nueva superficie de ataque a la vez que se da una disminución de la resistencia del elemento de madera por pérdida de sección. El desgaste anual en profundidad varía de 3 a 6 cm.

El ataque sobre la madera se concentra generalmente sobre la zona del nivel medio de las mareas y el de la baja mar, por lo cual los pilotes de las construcciones marinas tienden a tomar la forma característica de «reloj de arena». Su ataque se produce en todas las estaciones del año. La velocidad del ataque es inferior a la producida por los Teredos. A diferencia de los Teredos, el ataque se puede producir

tanto en aguas turbias como en aguas transparentes.

Existen referencias de que en 8 años fue destruida hasta una profundidad de 76 mm la tablazón de la fragata «Robust» encallada en Plymouth; en 4 años había destruido hasta una profundidad de 30 cm los pilotes del rompeolas de Plymouth; en el dique de Devonport, la Limnoria destruía todos los años una capa de 6 a 7 mm de los pilotes que estaban en el agua (Kollmann, 1959).

Las principales especies presentes en España son:

- Limnoria lignorum White: se presenta en el Atlántico y en las aguas de casi todo el mundo.
- Limnoria tripunctata Men.: se presenta tanto en el Mediterráneo como en el Atlántico.
- Chelura terebrans Ph .: en el Atlántico y Mediterráneo.

La durabilidad natural de la madera frente a los xilófagos marinos aumenta con el contenido de sílice que tenga la madera aunque otras maderas tienen otros compuestos como alcaloides que le confieren esta durabilidad. Las únicas maderas que resisten los ataques de la Limnoria son la *Syncarpia glomalifera* Sm., procedente de Queensland y Nueva Gales del Sur, y la *Nectandra Rodioei* (Schomb) Hock.

Referencias bibliográficas:

Benito, J. (1952). Conservación de maderas en sus aspectos teórico, industrial y económico. Vol. I. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 550 pp.

Benito, J. (1963). Investigaciones sobre termiticidas y maderas resistentes a los termitos. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 119 págs.

Bletchly, J. D. (1967). Insect and marine borer damage to timber and woodwork. Ministry of Technology: Forest Products Research. Her Majesty's Stationery Office. London. 88 pp.

Bravery, A.F., Berry, R.W., Carey, J.K. y Cooper, D.E. (1987). Recognising wood rot and insect damage in buildings. Building Research Establishment. Watford. 120 pp.

Graham, R., Scheffer, T.C., Wilcox, W.W. et al. (1973). Wood deterioration and its prevention by preservative treatments, Vol I. Ed. Darrel, Syracuse University Press. Nueva York. 380 pp.

Hartford, W.H., Arsenault, R.D., Henry, W.T. et al. (1973). Wood deterioration and its prevention by preservative treatments, Vol 2. Ed. Darrel, Syracuse University Press. Nueva York. 402 pp.

Kollmann, F. (1959). Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. Madrid. 675 pp.

Kraemer, G. (1958). Compendio de la conservación de maderas. Gustav Kraemer Koeller. Santander. 527 págs.

López de Roma, A. (1985). Patología y protección de la madera. La madera en la conservación y restauración del patrimonio cultural. Ministerio de Cultura, Madrid. Págs. 63-87.

Merchán, F. (1999). Manual para la Inspección Técnica de Edificios (ITE). CIE Inversiones Editoriales - Dossat 2000. Madrid. 356 pp.

Peraza, F. (2001). Protección preventiva de la madera. AITIM, Madrid. 437 pp.

Ridout, B. (2000). Timber decay in buildings. English Heritage, The Historic Buildings and Monuments Commission for England, and Historic Scotland. London. 232 pp.

Rodríguez Barreal, J.A. (1998). Patología de la madera. Fundación Conde del Valle de Salazar - Mundi Prensa. Madrid. 349 pp.

Rodríguez Trobajo, E. (1985). Biodegradación y conservación de la madera estructural. Incidencia de tres especies inéditas en España. La madera en la conservación y restauración del patrimonio cultural. Ministerio de Cultura, Madrid. Págs. 88-94.

Anexo B Normas de clasificación

En este anexo se describen las líneas generales de algunas normas europeas de clasificación visual, atendiendo principalmente al tratamiento que dan a la medición de los nudos y de las fendas. Las normas comentadas son las siguientes:

UNE 56.544 (España) NF B 52-001 (Francia) DIN 4074 (Alemania) INSTA 142 (Países Nórdicos) Recomendaciones CEE

Estas normas tienen como campo de aplicación la madera aserrada que normalmente se encuentra actualmente en el mercado; es decir, en general no están pensadas para la madera enteriza de gran escuadría. La asignación de las propiedades mecánicas a las piezas de madera clasificadas con estas normas, en principio sólo es válida o conocida para la madera originaria del país de cada norma.

A pesar de las limitaciones anteriores, resulta de utilidad conocer que resultados se obtendrían en caso de aplicar estas normas a la madera de gran escuadría que se puede encontrar en obras antiguas; este es el objetivo de este anexo.

Al final se incluye un ejemplo de aplicación de estas normas a una partida de madera antigua procedente de un derribo para comparar los resultados.

Norma UNE 56.544. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural: madera de coníferas (borrador de enero 2001)

Esta norma define las especificaciones para dos calidades ME-1 y ME-2, y es de aplicación al pino silvestre, laricio, pinaster e insigne. Para cada calidad se incluyen por especies las clases resistentes correspondientes:

Calidad	ME-I	ME-2	
Pino silvestre	C30	CI8	
Pino laricio	C35	CI8	Management of the Control of the Con
Pino pinaster	C24	CI8	
Pino insigne	C24	CI8	SERVICE SERVIC

Sin embargo, esta norma está basada en ensayos realizados sobre madera de escuadrías de tamaño medio (del orden de 50×150 hasta 70×200 mm), y por tanto la asignación de las propiedades mecánicas (clases resistentes) a piezas de escuadrías muy superiores no queda totalmente garantizada. Aunque en su campo de aplicación no se limita el tamaño máximo de la escuadría para la aplicación de la norma, es presumible que las propiedades mecánicas difieran para grandes escuadrías.

Los nudos se miden perpendicularmente al eje longitudinal de la pieza y se diferencia entre nudos sobre el canto, sobre la cara y axiales. Las limitaciones son las siguientes:

Calidad ME-2:

Nudos en cara: 1/2 del ancho para anchos menores o iguales a 150 mm

y 80 mm para anchos superiores a 150 mm

Nudos en canto: 2/3 del canto

Nudos axiales: - de canto a canto: 1/2 del canto - de cara a cara: 1/3 del ancho

Calidad ME-1:

Nudos en cara: 1/5 del ancho y máximo de 30 mm Nudos en canto: 2/3 del canto y máximo 30 mm Nudos axiales: - de canto a canto: 1/3 del canto

- de cara a cara: 1/5 del ancho y máximo de 30 mm

Además, esta norma tiene en cuenta el agrupamiento y el solape de los nudos.

Respecto a las fendas de secado sigue el criterio de la norma UNE EN 1310 e incluye las siguientes especificaciones:

Calidad ME-2:

Las fendas que no atraviesan la sección de la pieza no tendrán longitudes superiores a ½ de la longitud de la pieza con un máximo de 1.500 mm. Las fendas que atraviesen la sección de la pieza no tendrán longitudes superiores a 1/4 de la longitud de la pieza con un máximo de 1.000 mm. Si son de testa la longitud no será mayor que dos veces la anchura de la cara.

Calidad ME-1:

Las fendas que no atraviesan la sección de la pieza no tendrán longitudes superiores a 1/4 de la longitud de la pieza con un máximo de 1.000 mm. Las fendas que atraviesen la sección de la pieza sólo se admiten si son de testa y con una longitud no mayor que la anchura de la cara de la pieza.

En el caso de varias fendas o agrupamientos de fendas a lo largo de la pieza la norma indica que se sumarán sus longitudes.

Si se aplican las limitaciones anteriores a la suma de longitudes de fendas, el resultado es excesivamente penalizador para las piezas que tengan una escuadría mediana o grande.

Norma NF B 52-001. Reglas de utilización de la madera en la construcción: Clasificación visual para su empleo en estructuras para las principales especies coníferas y frondosas (1998)

Esta norma es de aplicación en las especies siguientes: pino silvestre, pinaster y Oregón, pícea, abeto, chopo y roble. Define tres calidades ST-III, ST-II y ST-I. En la introducción de la norma se indica que los resultados de las propiedades mecánicas se han obtenido con ensayos realizados en piezas con escuadrías relativamente pequeñas (40×100, 50×150 y 65×200 mm). Por tanto, en el caso de piezas de gran escuadría (superiores a las anteriores), los criterios de clasificación relativos a las fendas pueden ser diferentes y tener en cuenta el modo de trabajo de la pieza y las solicitaciones a las que está sometida.

Los nudos se miden como la longitud transversal a la proyección del nudo paralela a los bordes de la pieza y se evalúa como la relación con el grueso del canto o el ancho de la cara. Tiene en cuenta el solape y el agrupamiento de nudos.

Las especificaciones para cada calidad varían ligeramente en función de la especie de madera. En el caso de los pinos (silvestre y pinaster) las limitaciones en los nudos son las siguientes:

ST-III: 2/3 de la cara con un máximo de 100 mm y $\frac{1}{2}$ del canto con un máximo de 30 mm. ST-II: 1/3 de la cara con un máximo de 50 mm y $\frac{1}{2}$ del canto con un máximo de 30 mm. ST-I: 1/10 de la cara con un máximo de 15 mm y 1/3 del canto con un máximo de 15 mm.

Las fendas se admiten en la calidad ST-III con una longitud inferior o igual a 600 mm si atraviesan la sección y se admiten sin limite si no atraviesan la sección. En las calidades ST-II y ST-I, las fendas que atraviesan la sección se admiten si su longitud es menor o igual a dos veces el ancho de la sección y si no atraviesan la sección se admiten con longitudes menores o iguales a la mitad de la longitud de la pieza.

Las clases resistentes que corresponden a las calidades asignadas a los pinos son las siguientes: C18, C24 y C30 para las calidades ST-III, ST-II y ST-I, respectivamente.

En esta norma se incluye un Anexo con carácter informativo en el que se dan reglas de clasificación para madera de roble. Tiene interés por la escasez de referencias a las maderas de frondosas en temas de clasificación. Definen dos calidades Clase I y Clase 2 que son asignadas a las clases resistentes D35 y D30, respectivamente. Las especificaciones se resumen en la tabla siguiente:

Calidad	1	2 (madera de roble)	
Grueso de anillos de crecimiento	≥7 mm	≥ 4 mm	
Diámetro de los nudos	≤ 30 mm	≤ 40 mm	
Fendas	No se tienen	en cuenta	
Desviación de la fibra			
- local	<u>≤</u> 10%	≤ 20 %	
- general	≤7%	≤ 12%	
Gemas	HOMEOUT PORM SULLED COME SULLED SUCCESSION SUCCESSION SULLED SULL		
- longitud	< 1/3 de la lo	ngitud de la pieza y < 100 cm	
- anchura	< 1/3 del grue	so del canto	
Alteraciones biológicas			
- picaduras negras	Admitidas si se	ólo aparecen en una cara	
- pasmo	No admitidas		
Densidad al 20 % (kg/m³)	≥ 800	≥ 750	

Norma DIN 4074. Parte 1. Clasificación de la madera aserrada para uso estructural (1989)

Se aplica para la madera de coníferas de las especies pino silvestre, pícea, abeto y alerce, de crecimiento en el centro y norte de Europa. En esta norma se realiza una primera clasificación de la madera aserrada por escuadrías distinguiendo dos grupos: el primero formado por piezas de grueso inferior a 40 mm o escuadrías esbeltas (tablilla, tabla y tablón); y el segundo formado por piezas de grueso superior a 40 mm con escuadría de esbeltez máxima igual a 3 (h/b=3, madera escuadrada).

Tablilla: grueso menor o igual a 40 mm y ancho menor que 80 mm.

Tabla: grueso menor o igual a 40 mm y ancho mayor o igual que 80 mm.

Tablón: grueso superior a 40 mm y ancho mayor que 3 veces el grueso.

Madera escuadrada: anchura superior a 40 mm y grueso (altura de la sección) mayor o igual

que el ancho y menor o igual que 3 veces el ancho.

En el caso de intervención en edificios antiguos las piezas corresponderían en la mayor parte de los casos al grupo de madera escuadrada.

Los nudos se miden de forma diferente según se trate de uno u otro grupo. Para el caso de la madera escuadrada se miden por el diámetro menor del nudo y en el caso de nudos de arista como la flecha del arco que forma el nudo seccionado. Se evalúan en relación a la dimensión del ancho o la altura de la sección. Por el contrario en el caso de las piezas pequeñas (tablilla, tabla y tablón) los nudos se miden como la proyección transversal comprendida entre rectas paralelas a los bordes de la pieza.

En relación a las fendas de las piezas se diferencian dos grupos: las fendas de secado y otros tipos de fendas (provocadas por rayos, de heladura y acebolladuras).

Las fendas provocadas por rayos y de heladura se forman en vida del árbol en la zona de albura de la pieza y se reconocen porque la madera adquiere un color más oscuro en la proximidad de la fenda. Además, las fendas de heladura siguen los anillos de crecimiento del árbol. Las acebolladuras también se forman siguiendo los anillos de crecimiento.

Las fendas de secado son radiales y se forman en el tronco ya abatido o en la madera aserrada. Se indica que las fendas de secado habituales no inciden en la capacidad portante de la pieza.

Finalmente, la norma recoge las especificaciones para cada calidad definida: S7: madera de baja capacidad portante; S10: madera de capacidad portante normal; y S13: madera de capacidad portante superior a la media.

Las especificaciones son diferentes para cada categoría de madera (pequeñas dimensiones y madera escuadrada). En el caso de la madera escuadrada las especificaciones son las siguientes:

Calidad S7: nudos inferiores a 3/5.

Calidad \$10: nudos inferiores a 2/5 y menor o igual a 70 mm. Calidad \$13: nudos inferiores a 1/5 y menor o igual a 50 mm.

Las fendas de secado son admitidas en las tres calidades, mientras que las fendas provocadas por rayos, heladura y acebolladura no son admitidas en ningún caso.

Las clases resistentes que se asignan para las cuatro especies indicadas anteriormente son las siguientes: C16, C24 y C30, para las calidades S7, S10 y S13 respectivamente.

Norma INSTA 142 (Nordic T-rules). Reglas Nórdicas de clasificación visual de la madera para uso estructural (1997)

Esta norma tiene carácter de norma nacional comunitaria para Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia. Define cuatro calidades de madera (T0, T1, T2 y T3, en orden ascendente) para especies coníferas (pino silvestre, pícea, abeto y alerce) de crecimiento en los países nórdicos.

Las especificaciones de calidad se dan de manera diferente para tres grupos de tamaños de piezas:

Escuadrías grandes: Piezas con grueso

Piezas con grueso mayor o igual que 45 mm o con anchura

mayor o igual que 70 mm.

Escuadrías pequeñas: Piezas con grueso menor que 45 mm y con anchura menor que

70 mm, con un mínimo de 25 x 50 mm.

Láminas: Piezas utilizadas para la fabricación de madera laminada encolada.

En el caso de piezas antiguas las escuadrías corresponderían al grupo de escuadrías grandes.

En el caso de escuadrías grandes los nudos se miden como la longitud transversal proyectada paralelamente a los bordes de la pieza. Se incluye una serie de casos particulares como los nudos con solape, de canto, de arista, pasantes, etc. Su evaluación se realiza como la relación con el ancho o la altura de la sección. Sin embargo, en el caso de escuadrías pequeñas los nudos se miden y evalúan como la relación entre el área del nudo y el área de la sección. En los restantes defectos, como por ejemplo las fendas, no se indica procedimiento de medida y sólo se trata al indicar las especificaciones.

Como dato orientativo los límites para los nudos aislados en escuadrías grandes son los siguientes:

T0: I/I en el canto (ancho de la viga) y $\frac{1}{2}$ de la cara (altura de la viga).

T1: 4/5 del canto y 2/5 de la cara con un máximo de 75 mm.

T2: 1/2 del canto y 1/4 de la cara con un máximo de 50 mm.

T3: 1/3 del canto y 1/6 de la cara.

Las acebolladuras se aceptan en la calidad T0 con longitudes de hasta 1000 mm; se aceptan con una anchura máxima (a ambos lados del corazón) de 50 mm (profundidad de 25 mm) en una longitud máxima de 500 mm en las calidades T1 y T2; y no se aceptan en la calidad T3.

Las fendas superficiales (finas separaciones de las fibras de la madera a lo largo de la fibra originadas por el secado del tronco) se aceptan en la calidad T0, no se aceptan en las calidades T1 y T2 si afectan a las zonas extremas del 1/4 de las caras y no se aceptan en la calidad T3.

Las fendas causadas por el secado (fisuras cortas y estrechas) se aceptan en la calidad T0 si no

atraviesan la sección, se aceptan en las calidades T1 y T2 en una longitud total igual a la longitud de la pieza pero no de manera continua y sin atravesar la sección y si son fendas en el canto no se admite que rompa la arista; en la calidad T3 se admiten hasta la mitad de la longitud de la pieza pero no de manera continua ni en los cantos y sin atravesar la sección.

Las clases resistentes que corresponden a cada calidad para la madera de pino silvestre son las siguientes: C14, C18, C24 y C30 para las calidades T0, T1, T2 y T3 respectivamente.

Norma recomendada por la CEE para la clasificación de la madera aserrada de coníferas para uso estructural

Esta norma es una propuesta de la CEE cuya primera versión data de 1977 y que en la práctica no ha sido utilizada, salvo en los trabajos experimentales de investigación. Italia adoptó esta norma como norma italiana, pero posiblemente su uso práctico sea muy escaso.

Puede aplicarse a cualquier especie de madera conífera con unas dimensiones mínimas de la sección transversal de 38 x 63 mm. Define tres calidades de clasificación visual: S6, S8 y S10.

Los nudos se miden con el criterio más preciso que puede utilizarse, el índice de nudos. Se manejan dos índices: el índice de nudos total, definido como la relación entre el área de la proyección de todos los nudos sobre la sección en la que se encuentran y el área de la sección total; y el índice de nudos marginal, definido como la relación entre el área proyectada de los nudos en la zona marginal y el área de la zona marginal. La zona marginal es la parte que queda ocupando el cuarto del canto hacia los extremos de la sección. Las limitaciones son las siguientes (índice nudos marginal; inm, índice de nudos total: int):

S6; inm $\leq \frac{1}{2}$ e int $\leq \frac{1}{2}$ ó inm $> \frac{1}{2}$ e int $\leq \frac{1}{3}$

S8: $\operatorname{inm} \leq \frac{1}{2} \operatorname{e} \operatorname{int} \leq \frac{1}{3} \operatorname{o} \operatorname{inm} > \frac{1}{2} \operatorname{e} \operatorname{int} \leq \frac{1}{5}$

S10: inm $\leq 1/5$ e int $\leq 1/5$

En relación a las fendas sigue un criterio con la habitual falta de definición y especificación sobre el método de medida:

Se pueden despreciar las fendas superficiales que no tengan longitudes superiores a 300 mm.

En la calidad S6 las fendas que no atraviesan la sección no tendrán longitudes superiores a 1/4 de la longitud (cara de la pieza) con un máximo de 900 mm; si la fenda atraviesa la sección su longitud máxima será de 600 mm. Y si esta se encuentra en el extremo de la pieza su longitud se limitará a 1,5 veces el ancho (cara). No se admite más de una fenda con la longitud máxima por metro lineal.

En las calidades S8 y S10 las fendas que no atraviesan la sección no tendrán longitudes superiores a 1/4 de la longitud de la pieza con un máximo de 600 mm; si la fenda atraviesa la sección sólo se admite en el extremo de la pieza y con una longitud que no supere el ancho de la sección (cara). No se admite más de una fenda con la longitud máxima por metro lineal.

Aplicación de la normativa de clasificación a la madera de gran escuadría y antigua

La aplicación directa de la normativa de clasificación precedente a las piezas de madera existentes en un edificio antiguo conduce a resultados descorazonadores, como se puede comprobar en el ejemplo siguiente. El análisis se realiza sobre una muestra de 29 vigas de madera antigua (dos grupos de edad de 100 y 150 años) de pino silvestre y pino pinaster (Arriaga et al. 1992). Se han elegido tres normas para la clasificación: normas recomendadas por ECE (ECE), norma UNE 56544 y norma DIN 4074. Los criterios de clasificación considerados son los principales: nudos, fendas, desviación de la fibra y gemas. En la tabla siguiente se comparan los rendimientos de cada calidad de cada norma y se incluyen las propiedades mecánicas correspondientes.

Norma	Calidad R	endimiento (%)	Tensión de rotur	aaflexión	Módulo de elasticidad	
			Media N/mm² Coef. Variación%		Medio N/mm² Coef. Variació	
ECE	SIO	12	42,8	23	11.408	13
tulestars/arc/colean-toolean-t	S8	9	25,7	38	8.590	18
140012-144-144-144-144-144-144-144-144-144-1	S6	35	24,9	38	8.483	24
***************************************	Rechazo	44	22,9	34	8.624	26
UNE 56544(*)	ME-I	9	30,7	ll l	9.507	6
***************************************	ME-2	21	30,6	52	9.112	25
***************************************	Rechazo	70	24,2	36	8.766	26
DIN 4074	\$13	21	33,6	45	9.460	22
	SIO	32	21,1	40	7.974	28
	S7	41	27,7	29	9.532	20
	Rechazo	6 -	-	-	-	-

^{(*):} Para la evaluación de las fendas se ha tomado como criterio la limitación de la longitud de las mismas a la longitud individual de cada fenda y no a la suma de las longitudes de todas las fendas.

Rechazo: Piezas que no alcanzan las especificaciones de la calidad mínima de la norma.

Aun teniendo en cuenta que la muestra analizada es muy reducida pueden extraerse las siguientes conclusiones:

La norma ECE resulta complicada de aplicar y deja un rechazo demasiado elevado del 44 %.

La norma UNE 56544 presenta un elevadísimo porcentaje de rechazo (70 %), principalmente debido a una exigencia alta en gemas. También tiene una exigencia demasiado elevada para las fendas, pero en la aplicación de la norma no se ha considerado la suma de longitudes de las fendas en toda la longitud de la pieza, sino la longitud de las fendas aisladas.

La norma DIN 4074 es la que presenta un rendimiento mejor, ya que prácticamente no hay piezas rechazadas, pero los resultados tienen una variación mayor que en los anteriores (lo que

por otro lado es coherente).

Parece lógico adoptar un procedimiento de clasificación similar al propuesto en la norma DIN 4074 o en todo caso como el de la norma UNE 56544, pero modificando el criterio de evaluación de las gemas para conseguir rendimiento mayores.

Pensando en la aplicación de métodos de clasificación mediante ensayos no destructivos aplicados en la obra se han realizado los siguientes análisis basados en la selección de las piezas por módulos de elasticidad y por evaluación por ultrasonidos. Para ello se consideran los siguientes criterios:

Criterio I (E):

Se clasifican las piezas por su módulo de elasticidad obtenido por ensayo

no destructivo tomando tres intervalos:

E₁ = 4.656 a 7.947 N/mm² E₂ = 9.007 a 10.514 N/mm² E₃ = 11.120 a 12.947 N/mm²

Criterio 2 (E_d):

Se clasifican las piezas por el módulo de elasticidad dinámico obtenido por medición de la velocidad de propagación de los ultrasonidos en el

tercio central y la densidad, tomando tres intervalos:

 $E_{d1} = 9.971 \text{ a } 11.656 \text{ N/mm}^2$ $E_{d2} = 11.907 \text{ a } 13.796 \text{ N/mm}^2$ $E_{d3} = 13.877 \text{ a } 17.894 \text{ N/mm}^2$

Criterio 3 (v):

Se clasifican las piezas por la velocidad de transmisión de los ultrasonidos

medida en el tercio central, tomado tres intervalos:

 $v_1 = 4.133 \text{ a } 4.855 \text{ m/s}$ $v_2 = 4.879 \text{ a } 5.108 \text{ m/s}$ $v_3 = 5.117 \text{ a } 5.328 \text{ m/s}$

Los resultados se resumen en la tabla siguiente:

Criterio	Intervalo	Rendimiento (%)	Tensión de rot	uraaflexión	Módulo de elasti	cidad
			Media N/mm²	Coef. Variación%	Medio N/mm²	Coef. Variación%
I	E,	42	20,6	27	6.795	14
	E,	41 .	25,6	34	9.702	6
	E,	17	42,2	23	12.180	6
2	E _{al}	43	22,8	49	8.022	23
	E _{d2}	40	27,5	28	8.982	23
	E _{d3}	17	33,6	40	11.153	14
3	ν	43	25,9	39	8.368	25
	v ₂	40	23,6	41	8.795	25
www.moonmoo	V ₃	17	34,0	39	10.667	II

Como conclusiones de los resultados de la tabla anterior se resumen las siguientes:

El procedimiento más fiable es el basado en el criterio I (ensayo no destructivo para medir el módulo de elasticidad). Este método requiere realizar ensayos en obra o desmontar piezas para llevar a laboratorio, lo cual es complejo.

La utilización de mediciones por ultrasonidos da valores similares al emplear el módulo de elasticidad dinámico o simplemente la velocidad de propagación. Por tanto, parece un método viable la realización de medidas de velocidad de propagación en obra para la posterior asignación de una clase resistente.

La secuencia de propiedades mecánicas que se obtienen por ultrasonidos es más coherente que la obtenida mediante la clasificación visual de las piezas con las normas anteriores.

Referencias bibliográficas:

Arriaga, F., García, L., Gebremedhin, K.G. y Peraza, F. (1992). Evaluación de la capacidad portante de forjados antiguos con vigas de madera. AITIM. nº 161 (Pags. 51-62).

Normativa:

NF B 52-001. (1998). Régles d'utilisation du bois dans les consttructions. Classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues.

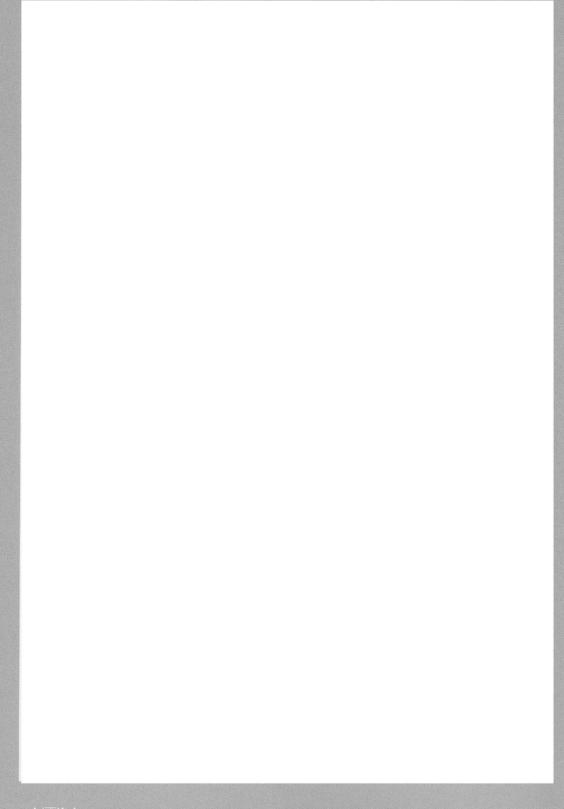
DIN 4074. Teil I (1989). Sortierun von nadelholz nach der tragfähigkeit. Nadelschnittholz.

Normes CEE recommandées pour le classement des sciages résineux selon la résistance et sur les aboutages à entures multiples pour les sciages résineux de construction. Bulletin du bois pour l'Europe. Vol XXXIV, Sup. 16. Genève, nov. 1982.

NS-INSTA 142 (1997). Nordic visual strength grading rules for timber.

UNE 56.544 «Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural: madera de coníferas»

Anexo C Propiedades mecánicas asignadas a la madera en la antigüedad



Introducción

En el planteamiento actual del proyecto de una estructura de madera intervienen numerosos factores que incluyen aspectos del material (especie, calidad, escuadrías) y del cálculo (resistencia de materiales, método de cálculo, coeficientes de seguridad y acciones). Es interesante conocer el enfoque del cálculo en la antigüedad y como los planteamientos, a veces erróneos, se ajustan a una práctica con un resultado de seguridad similar al actual.

Hay muy pocas referencias a especificaciones de calidad de la madera, salvo algunas reducciones de la resistencia respecto a la madera libre de defectos, pero sin particularizar. En cierta manera la madera que interviene en piezas de gran escuadría dentro de la misma especie tiende a tener una cantidad y tamaños de los defectos más regulares que en el caso de pequeñas escuadrías. Sin embargo, sí se encuentran más referencias a la especie de madera, lo cual es coherente con lo anterior.

Es en siglo XX cuando se comienzan a implantar procesos de clasificación visual de la madera con uso estructural. Su campo de aplicación está más cerca de las pequeñas escuadrías que las antiguas y grandes secciones. Estos procedimientos se recogen en normas de clasificación y a su vez quedan incluidas en las normas de cálculo.

Algunas referencias a la resistencia de la madera en la antigüedad

En el Tratado de Arquitectura Civil de Benito Bails de 1783 (Navascués, 1983), se manejan de manera implícita tensiones admisibles a flexión del orden de los 10 N/mm² (Arriaga, 1998). En esta época el problema de la tensión de flexión en vigas ya estaba correctamente resuelto por Parent (1666-1716), pero durante el siglo XVIII los ingenieros seguían utilizando las fórmulas basadas en la teoría de Mariotte (1620-1684); éstas daban tensiones dobles de las reales. Lo más interesante es que se recogen unos factores de reducción de la resistencia obtenida en ensayos que incluyen ciertas referencias a la calidad de la madera, como la desviación de la fibra, su procedencia y variabilidad, y el efecto de la duración de la carga en la resistencia estudiado por Buffon en 1741 (Booth, 1964).

La definición del concepto de tensión, tal y como hoy lo utilizamos, no era empleado hasta después de los trabajos publicados por Cauchy en 1822; hasta entonces se trataba como una presión, entendida como fuerzas aplicadas sobre las moléculas de un cuerpo elástico y no como una tensión referida a un plano. En la Enciclopedia Roret (Biston et al., 1825) se incluyen algunos valores de la resistencia de la madera (posiblemente con erratas que en este texto se han corregido).

Para la tensión de rotura a flexión del roble se asignan 69 N/mm² y para el abeto 61 N/mm². Como valores admisibles adopta una reducción a la quinta parte de los anteriores; 14 N/mm² para el roble y 12 N/mm² para el abeto. Esta reducción la justifica con «el fin de evitar la posibilidad de rotura» así como que no se deformen las vigas.

Sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra asigna unos valores de 16 N/mm² para el roble francés y 10,8 N/mm² para el roble inglés y el abeto amarillo, sin llegar a aclarar si se trata de valores de rotura o con cierto margen de seguridad. Donde sí define que se trata de valores que incluyen la seguridad es cuando especifica las tensiones de trabajo que se pueden

admitir para diferentes especies de madera con diversas esbelteces. El fenómeno del pandeo queda implícito dentro de esta reducción de la resistencia con la esbeltez, Tabla C.I.

Especie	Esbeltez geométrica l/b y esbeltez mecánica equivalente l/i (l: longitud; b: anchura de la sección; l: radio de giro)						
	12/41	20/70	28/97	40/139	60/208		
Roble fuerte	2,50	1,78	1,20	0,76	0,25		
Roble débil	0,84	0,64	0,52	-	-		
Abeto amarillo o rojo	3,50	2,42	1,76	1,12	-		
Abeto blanco	0,80	0,58	-	-			

Tabla C.1. Resistencia a compresión paralela en N/mm² (enciclopedia Roret).

También da los módulos de elasticidad que se recogen en la tabla C.2.

Especie	Módulo de elasticidad (N/mm²)
Roble	12.000
Abeto amarillo o blanco	13.000
Abeto rojo o pino	15000
Alerce	9.000
Haya roja	9.300
Fresno	11.200
Olmo	9.700

Tabla C.2. Módulos de elasticidad (enciclopedia Roret).

Como se ha comentado anteriormente el concepto de tensión fue expresado en los términos actuales en 1822 por Cauchy, y en 1826 Navier define el módulo de elasticidad como la relación entre la tensión y la deformación. Sin embargo, todavía en la segunda mitad del siglo XIX, se utilizan estos parámetros encubiertos dentro de coeficientes como ocurre, por ejemplo, en la publicación de Études sur les bois de construction (Garraud, 1863).

Así, para los cálculos de la resistencia y deformación por flexión utiliza la regla de Barlow, en la que define dos constantes para cada especie, que permiten conocer la resistencia y la deformación de vigas.

La constante de Barlow para la determinación de la capacidad de resistencia a flexión es en realidad una sexta parte de la tensión de rotura a flexión. De esta forma pueden deducirse los valores de tensiones de rotura para las especies que se incluyen en la citada publicación, tabla C.3. Estas resistencias están obtenidas para maderas con una determinada densidad, que se recoge en la tabla; cuando no coinciden deberá efectuarse una corrección.

Especie	Resistencia a flexión N/mm²	Densidad de referencia kg/m³
Roble	70,2	934
Olmo	42,6	553
Fresno	85,2	760
Haya	65,4	695
Pino de Riga	45,6	745
Abeto pesado	69,0	660
Alerce	42,0	543

Tabla C.3. Tensión de rotura a flexión deducida de la regla de Barlow y densidad de referencia.

Para el cálculo de deformaciones incluye otra constante que está relacionada con el módulo de elasticidad. A partir de las aplicaciones que incluye se puede deducir que esta constante de deformación es para el caso de las vigas biapoyadas, cuatro veces el módulo de elasticidad. De esta forma se obtienen valores del modulo de elasticidad de 10.181 N/mm² para el roble o de 9.319 N/mm² para el pino. Sin embargo, en las aplicaciones al caso de los voladizos y las vigas biempotradas incluye errores que dan lugar a que la constante tome valores muy diferentes (2,66 a 8 veces el módulo de elasticidad).

También trata de la resistencia de piezas comprimidas y con posibilidad de pandeo. Incluye una expresión de la carga de pandeo en la que vuelve a introducir la constante de Barlow para la deformación (en este caso se deduce otro valor diferente de la constante e igual a 1,27 veces el módulo de elasticidad). Recomienda que la carga obtenida por cálculo sea reducida a la tercera parte con el fin de que «el esfuerzo sea soportado sin ninguna fatiga». Cita las recomendaciones de Rondelet sobre no superar una altura de 10 veces el diámetro de la base y no superar la tensión de compresión de 5 N/mm².

También incluye valores de la tensión de rotura a la tracción de 70 N/mm² para el roble, 84 N/mm² para el abeto, 80 para el haya y 120 para el fresno.

En la obra «Tratado de industria. Trabajo de metales y maderas» (López et al., 1885) se dan valores de la resistencia a tracción, compresión y flexión para diversas especies de madera. Se dan los valores de rotura y los de trabajo o tensiones admisibles, en principio para una duración permanente de la carga ya que no se hace referencia a la duración. La relación entre tensión de rotura y de trabajo es de 10. A continuación se incluyen alguno de estos datos, tabla C.4.

Madera	Tracción paralela N/r	nm²	Compresión paralela (*) N/mm²		
	Tensión de rotura	Tensión admisible	Tensión de rotura	Tensión admisible	
Encina	70 a 90	7 a 9	38 a 40	3,8 a 4	
Roble	60 a 80	6 a 8	30 a 40	3 a 4	
Castaño	60 a 130	6 a 13	52	5,2	
Olmo	100	10	70	7	
Haya	80 a 90	8 a 9	54 a 65	5,4 a 6,5	
Álamo negro	90 a 100	9 a 10	70	7	
Pino	70 a 90	7 a 10	38 a 60	3,8 a 6	

^(*) Válida para piezas con una esbeltez geométrica no superior a 12 (relación entre la altura y el lado menor de la sección no superior a 12).

Tabla C.4. Tensiones de rotura y admisibles de tracción y compresión (López et al. 1885).

Para la tensión admisible a flexión considera un valor como término medio de las maderas más usadas de 6 N/mm².

Referencias bibliograficas:

Arriaga, F. (1998). La carpintería en el Tratado de Arquitectura Civil de Benito Bails. AITIM nº 191. Págs. 33-48.

Biston, Hanues, Boutereau y Gauché. (1825). Manuels-Roret. Nouvau Manuel Complet du charpentier ou Traité élémentaire et pratique de cet art. Edición de Inter-livres de 1998.

Booth, L.G. (1964). The strength testing of timber during the 17th and 18th centuries. Institute of Wood Science Journal N° 13, November 1964, pp. 5-30.

Garraud, M. L. (1863). Études sur les bois de construction. Ed. Arthus Bertrand. Paris. 303 págs.

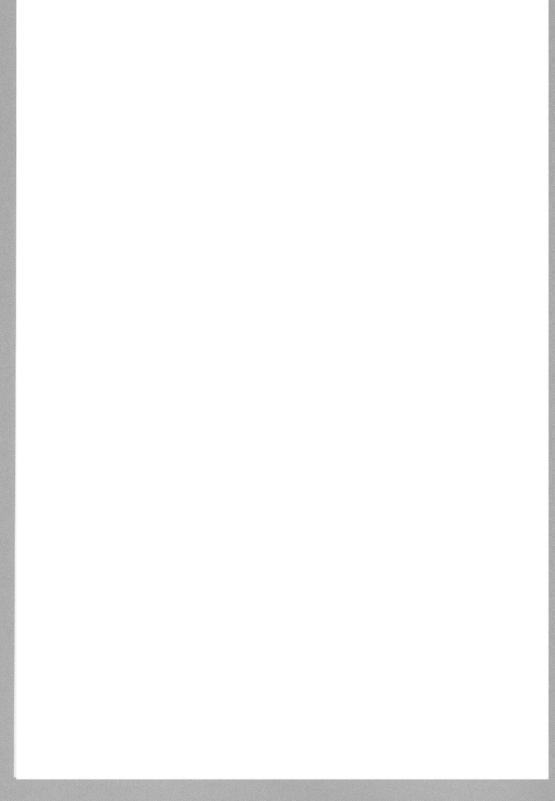
López, J. y Lanaja, C. (1885). Tratado de industria. Trabajo de metales y maderas. Imprenta de Ondero. 472 págs.

Navascués, P. (1983). Estudio crítico de la obra de Benito Bails: De la Arquitectura Civil. 1796. Dos tomos. Ed. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia.

Plá y Rave, E. (1880). Maderas de construcción civil y naval. Imprenta, estereotipia y galvanoplastia de Aribau y C^a. Madrid.

Timoshenko, S.P. (1983). History of strength of materials. Ed. Dover Publications, Inc. New York.

Anexo C Propiedades mecánicas asignadas a la madera en la antigüedad



Introducción

En el planteamiento actual del proyecto de una estructura de madera intervienen numerosos factores que incluyen aspectos del material (especie, calidad, escuadrías) y del cálculo (resistencia de materiales, método de cálculo, coeficientes de seguridad y acciones). Es interesante conocer el enfoque del cálculo en la antigüedad y como los planteamientos, a veces erróneos, se ajustan a una práctica con un resultado de seguridad similar al actual.

Hay muy pocas referencias a especificaciones de calidad de la madera, salvo algunas reducciones de la resistencia respecto a la madera libre de defectos, pero sin particularizar. En cierta manera la madera que interviene en piezas de gran escuadría dentro de la misma especie tiende a tener una cantidad y tamaños de los defectos más regulares que en el caso de pequeñas escuadrías. Sin embargo, sí se encuentran más referencias a la especie de madera, lo cual es coherente con lo anterior.

Es en siglo XX cuando se comienzan a implantar procesos de clasificación visual de la madera con uso estructural. Su campo de aplicación está más cerca de las pequeñas escuadrías que las antiguas y grandes secciones. Estos procedimientos se recogen en normas de clasificación y a su vez quedan incluidas en las normas de cálculo.

Algunas referencias a la resistencia de la madera en la antigüedad

En el Tratado de Arquitectura Civil de Benito Bails de 1783 (Navascués, 1983), se manejan de manera implícita tensiones admisibles a flexión del orden de los 10 N/mm² (Arriaga, 1998). En esta época el problema de la tensión de flexión en vigas ya estaba correctamente resuelto por Parent (1666-1716), pero durante el siglo XVIII los ingenieros seguían utilizando las fórmulas basadas en la teoría de Mariotte (1620-1684); éstas daban tensiones dobles de las reales. Lo más interesante es que se recogen unos factores de reducción de la resistencia obtenida en ensayos que incluyen ciertas referencias a la calidad de la madera, como la desviación de la fibra, su procedencia y variabilidad, y el efecto de la duración de la carga en la resistencia estudiado por Buffon en 1741 (Booth, 1964).

La definición del concepto de tensión, tal y como hoy lo utilizamos, no era empleado hasta después de los trabajos publicados por Cauchy en 1822; hasta entonces se trataba como una presión, entendida como fuerzas aplicadas sobre las moléculas de un cuerpo elástico y no como una tensión referida a un plano. En la Enciclopedia Roret (Biston et al., 1825) se incluyen algunos valores de la resistencia de la madera (posiblemente con erratas que en este texto se han corregido).

Para la tensión de rotura a flexión del roble se asignan 69 N/mm² y para el abeto 61 N/mm². Como valores admisibles adopta una reducción a la quinta parte de los anteriores; 14 N/mm² para el roble y 12 N/mm² para el abeto. Esta reducción la justifica con «el fin de evitar la posibilidad de rotura» así como que no se deformen las vigas.

Sobre la resistencia a la compresión paralela a la fibra asigna unos valores de 16 N/mm² para el roble francés y 10,8 N/mm² para el roble inglés y el abeto amarillo, sin llegar a aclarar si se trata de valores de rotura o con cierto margen de seguridad. Donde sí define que se trata de valores que incluyen la seguridad es cuando especifica las tensiones de trabajo que se pueden

admitir para diferentes especies de madera con diversas esbelteces. El fenómeno del pandeo queda implícito dentro de esta reducción de la resistencia con la esbeltez, Tabla C.I.

Especie	Esbeltez geométrica l/b y esbeltez mecánica equivalente l/i (l: longitud; b: anchura de la sección; l: radio de giro)						
	12/41	20/70	28/97	40/139	60/208		
Roble fuerte	2,50	1,78	1,20	0,76	0,25		
Roble débil	0,84	0,64	0,52	-	-		
Abeto amarillo o rojo	3,50	2,42	1,76	1,12	-		
Abeto blanco	0,80	0,58	-	-			

Tabla C.1. Resistencia a compresión paralela en N/mm² (enciclopedia Roret).

También da los módulos de elasticidad que se recogen en la tabla C.2.

Especie	Módulo de elasticidad (N/mm²)
Roble	12.000
Abeto amarillo o blanco	13.000
Abeto rojo o pino	15000
Alerce	9.000
Haya roja	9.300
Fresno	11.200
Olmo	9.700

Tabla C.2. Módulos de elasticidad (enciclopedia Roret).

Como se ha comentado anteriormente el concepto de tensión fue expresado en los términos actuales en 1822 por Cauchy, y en 1826 Navier define el módulo de elasticidad como la relación entre la tensión y la deformación. Sin embargo, todavía en la segunda mitad del siglo XIX, se utilizan estos parámetros encubiertos dentro de coeficientes como ocurre, por ejemplo, en la publicación de Études sur les bois de construction (Garraud, 1863).

Así, para los cálculos de la resistencia y deformación por flexión utiliza la regla de Barlow, en la que define dos constantes para cada especie, que permiten conocer la resistencia y la deformación de vigas.

La constante de Barlow para la determinación de la capacidad de resistencia a flexión es en realidad una sexta parte de la tensión de rotura a flexión. De esta forma pueden deducirse los valores de tensiones de rotura para las especies que se incluyen en la citada publicación, tabla C.3. Estas resistencias están obtenidas para maderas con una determinada densidad, que se recoge en la tabla; cuando no coinciden deberá efectuarse una corrección.

Especie	Resistencia a flexión N/mm²	Densidad de referencia kg/m³	
Roble	70,2	934	
Olmo	42,6	553	
Fresno	85,2	760	•
Haya	65,4	695	
Pino de Riga	45,6	745	
Abeto pesado	69,0	660	
Alerce	42,0	543	

Tabla C.3. Tensión de rotura a flexión deducida de la regla de Barlow y densidad de referencia.

Para el cálculo de deformaciones incluye otra constante que está relacionada con el módulo de elasticidad. A partir de las aplicaciones que incluye se puede deducir que esta constante de deformación es para el caso de las vigas biapoyadas, cuatro veces el módulo de elasticidad. De esta forma se obtienen valores del modulo de elasticidad de 10.181 N/mm² para el roble o de 9.319 N/mm² para el pino. Sin embargo, en las aplicaciones al caso de los voladizos y las vigas biempotradas incluye errores que dan lugar a que la constante tome valores muy diferentes (2,66 a 8 veces el módulo de elasticidad).

También trata de la resistencia de piezas comprimidas y con posibilidad de pandeo. Incluye una expresión de la carga de pandeo en la que vuelve a introducir la constante de Barlow para la deformación (en este caso se deduce otro valor diferente de la constante e igual a 1,27 veces el módulo de elasticidad). Recomienda que la carga obtenida por cálculo sea reducida a la tercera parte con el fin de que «el esfuerzo sea soportado sin ninguna fatiga». Cita las recomendaciones de Rondelet sobre no superar una altura de 10 veces el diámetro de la base y no superar la tensión de compresión de 5 N/mm².

También incluye valores de la tensión de rotura a la tracción de 70 N/mm² para el roble, 84 N/mm² para el abeto, 80 para el haya y 120 para el fresno.

En la obra «Tratado de industria. Trabajo de metales y maderas» (López et al., 1885) se dan valores de la resistencia a tracción, compresión y flexión para diversas especies de madera. Se dan los valores de rotura y los de trabajo o tensiones admisibles, en principio para una duración permanente de la carga ya que no se hace referencia a la duración. La relación entre tensión de rotura y de trabajo es de 10. A continuación se incluyen alguno de estos datos, tabla C.4.

Madera	Tracción paralela N/r	nm²	Compresión paralela (*) N/mm²		
	Tensión de rotura	Tensión admisible	Tensión de rotura	Tensión admisible	
Encina	70 a 90	7 a 9	38 a 40	3,8 a 4	
Roble	60 a 80	6 a 8	30 a 40	3 a 4	
Castaño	60 a 130	6 a 1 3	52	5,2	
Olmo	100	10	70	7	
Haya	80 a 90	8 a 9	54 a 65	5,4 a 6,5	
Álamo negro	90 a 100	9 a 10	70	7	
Pino	70 a 90	7a10	38 a 60	3,8 a 6	

^(*) Válida para piezas con una esbeltez geométrica no superior a 12 (relación entre la altura y el lado menor de la sección no superior a 12).

Tabla C.4. Tensiones de rotura y admisibles de tracción y compresión (López et al. 1885).

Para la tensión admisible a flexión considera un valor como término medio de las maderas más usadas de 6 N/mm².

Referencias bibliograficas:

Arriaga, F. (1998). La carpintería en el Tratado de Arquitectura Civil de Benito Bails. AITIM nº 191. Págs. 33-48.

Biston, Hanues, Boutereau y Gauché. (1825). Manuels-Roret. Nouvau Manuel Complet du charpentier ou Traité élémentaire et pratique de cet art. Edición de Inter-livres de 1998.

Booth, L.G. (1964). The strength testing of timber during the 17th and 18th centuries. Institute of Wood Science Journal N° 13, November 1964, pp. 5-30.

Garraud, M. L. (1863). Études sur les bois de construction. Ed. Arthus Bertrand. Paris. 303 págs.

López, J. y Lanaja, C. (1885). Tratado de industria. Trabajo de metales y maderas. Imprenta de Ondero. 472 págs.

Navascués, P. (1983). Estudio crítico de la obra de Benito Bails: De la Arquitectura Civil. 1796. Dos tomos. Ed. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia.

Plá y Rave, E. (1880). Maderas de construcción civil y naval. Imprenta, estereotipia y galvanoplastia de Aribau y C^a. Madrid.

Timoshenko, S.P. (1983). History of strength of materials. Ed. Dover Publications, Inc. New York.

Anexo E Comprobación de estructuras de madera

E.1 INTRODUCCIÓN

El objeto de este anexo es la descripción del procedimiento para la peritación o comprobación de estructuras de madera maciza en una versión simplificada para hacerlo más operativo.

Está basado en el Eurocódigo 5, UNE ENV 1995-1-1 y 1995-1-2. Estas normas de carácter experimental serán en breve (hacia el 2003 o 2004) actualizadas por los proyectos de norma prEN 1995-1-1 y 1995-1-2, con algunas variaciones que no afectan en esencia al contenido de este anexo. En algunas cuestiones como la estimación de la deformación por fluencia ya se han incluido aquí las modificaciones oportunas. Recientemente se ha terminado el primer borrador del Código Técnico de la Edificación que pretende reunir toda la normativa relativa a la seguridad y habitabilidad en la edificación con un enfoque más avanzado. La parte de este Código que trata de la madera está basada en el Eurocódigo 5.

El contenido de este anexo está extractado de la citada norma excluyendo muchos temas que no inciden normalmente en las estructuras de madera antiguas construidas con madera maciza. También se han realizado algunas simplificaciones, que dejan del lado de la seguridad, como es el caso de la no consideración del factor de altura de la sección. Este factor permite aumentar ligeramente la resistencia de la madera (en flexión y en tracción paralela a la fibra) cuando la altura de la sección es inferior a 150 mm. Para un cálculo más preciso pueden consultarse otras publicaciones especializadas (Argüelles et al., 2000).

La aplicación de estas reglas de cálculo a las estructuras existentes no presenta inconvenientes. Sin embargo, el problema que aparece en la peritación se encuentra en la asignación de las propiedades mecánicas (clase resistente) a la madera de gran escuadría de las obras antiguas. Este inconveniente se trata en varias partes de esta publicación y se apuntan ideas para su valoración.

El desarrollo del anexo se efectúa en dos partes. La primera recoge las bases de cálculo, descritas de una manera breve y operativa; y la segunda incluye una serie de comprobaciones de los elementos típicos que se encuentran en la construcción con madera. Cada caso se ilustra con un ejemplo de un elemento constructivo representativo.

La peritación de una estructura antigua presenta unas características específicas que son diferentes al caso del proyecto de una estructura nueva. Por ejemplo, en muchas ocasiones el uso del edificio cambia a un carácter más publico, lo que implica unas capacidades de carga mayores que en algunos casos pueden ser incompatibles con el tipo estructural original del edificio. Los requisitos derivados de la normativa de incendios pueden llegar a entrar en contradicción con los objetivos de la restauración del edificio; por ejemplo, una estabilidad al fuego puede requerir ocultar la estructura de madera, con lo que se pierde el carácter del edificio. Las deformaciones que se deducen del cálculo suelen resultar excesivas si se aplican los criterios actuales de limitación de las flechas. Tal vez en un edificio antiguo estas limitaciones pueden ser menos exigentes.

E.2 BASES DE CÁLCULO

E.2.1 Propiedades mecánicas de la madera. Clases resistentes

La primera incógnita que se presenta en la peritación de la estructura es la asignación de la resistencia a las piezas de madera. Este tema se trata en el capítulo 3 «Diagnóstico» de este libro. El resultado final puede ser la asignación de una de las clases resistentes que se indican en la norma UNE EN 338, tabla E.I. Esta norma se encuentra actualmente en proceso de revisión y aquí se recoge la versión del borrador final, prEN 338.

En esta norma se diferencian 12 clases resistentes para la madera de coníferas y chopo (C14 a C50) y 6 clases para la madera de frondosas (D30 a D70). El número que acompaña a la letra C o D es la resistencia característica a flexión expresada en N/mm². El valor característico de una propiedad se define como el percentil 5° de la distribución. De tal forma que la probabilidad de encontrar valores de resistencia inferiores al característico es de un 5 %.

E.2.2 Valores de cálculo de las propiedades mecánicas de la madera

El valor de cálculo de una propiedad mecánica, como por ejemplo la resistencia, es un valor de la tensión que se considera seguro en el cálculo por estados límites de la estructura. Este valor

		Management of the last	Separate Sep				STREET, STREET	STATE	SCHOOL STREET	SPECIAL STREET	STATISTICS.	Spiritual spiritual							
		Espe	scies c	Especies coníferas y chopo	s y ch	odo								Espe	cies fr	Especies frondosas	as		
		C14	9ID	C 8	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D20	09Q	D70
Propiedades resistentes en N/mm²			-	The contract of the contract o	-		***************************************	on the second	-	***************************************	-	***************************************	-						
Flexión	Ť	4	91	∞	70	22	74	77	30	35	8	45	20	30	35	8	S	99	2
Tracción paralela	[†] w	∞	으	=	. 12	13	4	91	<u>&</u>	21	24	77	30	8	21	24	R	3%	42
Tracción perpendicular	f.90k	0,4	979	5'0	5'0	9'2	5'0	9'0	9'0	9'0	9'0	9'0	9'0	9'0	9'0	9'0	9'0	9'0	9,0
Compresión paralela	Ťģ	91	17	<u>&</u>	61	92	21	22	23	25	36	77	29	73	25	76	53	32	75
Compresión perpendicular	f.	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	2,6	10,5	13,5
Cortante	خب	1,7	8 [']	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	0'9
Propiedades de rigidez en kN/mm²	1,2																		
Mód. elasticidad paralelo medio	Funedo	7 °	∞	6	9,5	0	=	115	12	13	4	15	91	0	0	=	4	1	20
Mód. elasticidad paralelo 5º percentil	ம்	4,7	5,4	0'9	6,4	2'9	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	0'01	10,7	8,0	8,7	9,4	8¢ =	14,3	16,8
Mód. elasticidad perpendicular medio	Eyûmedo	₅₀ 0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	05'0	0,53	0,64	69'0	0,75	0,93	1,13	1,33
Módulo de cortante medio	5	0,4	05'0	95'0	0,59	6,63	69'0	0,72	0,75	18'0	88'0	0,94	00'1	09'0	9'0	0,70	88'0	90'1	1,25
Densidad en kg/m³															00 66 66 66 66 66 66 66 66 66 66 66 66 6				***************************************
Densidad característica	ď	290	310	320	330	340	320	370	380	9	420	\$	460	230	290	290	929	002	006
Densidad media	P _{meda}	320	370	98	330	410	420	450	460	480	200	520	550	640	0/9	92	08/	840	080
				000000000000000000000000000000000000000	000000000000000000000000000000000000000								ON THE PERSON NAMED IN COLUMN	-	- Contraction		and the same of th		MANAGEMENT OF THE PARTY OF THE

Tabla E.I. Clases resistentes de madera asenada. Valores característicos.

parte del valor característico y se divide por un coeficiente de seguridad y se comije en función de la duración de la carga y el contenido de humedad.

Este valor de cálculo se obtiene por la siguiente expresión:

$$X_{d} = k_{mod} \frac{X_{k}}{Y_{M}}$$
 (E.1)

siendo,

X_k valor característico de la propiedad. Generalmente corresponde al 5° percentil de la distribución estadística de los resultados de los ensayos. Se indica en la tabla E.I.

 λ_{M} coeficiente parcial de seguridad para el material con los siguientes valores:

Estados límite últimos:

- combinaciones fundamentales 1,3 - combinaciones accidentales 1,0

Estados límite de servicio: 1,0

k_{mod} factor de modificación que tiene en cuenta el efecto de la duración de la carga y del contenido de humedad en los valores resistentes. En la tabla E.2 se indican los valores de este factor en función de la clase de servicio (relacionada con el contenido de humedad) y la clase de duración de la carga.

Clase de duración de la carga Clase de servicio

	I	2	3	
Permanente	 0,60	0,60	0,50	
Larga duración	0,70	0,70	0,55	
Media duración	0,80	0,80	0,65	THE PROPERTY OF PERSONS AND ADDRESS OF THE PERSONS AND ADDRESS AND ADDRESS OF THE PERSONS AND ADDRESS
Corta duración	0,90	0,90	0,70	PORT ACCOUNT OF THE PROPERTY O
Instantánea	1,10	1,10	0,90	00000000000000000000000000000000000000

Si una combinación de hipótesis consiste en varias acciones pertenecientes a diferentes clases de duración de la carga, el factor kmod puede elegirse como el comespondiente a la acción de más corta duración. Por ejemplo, para la combinación del peso muerto más carga de corta duración, k_{mod} comesponderá a la carga de corta duración.

Tabla E.2. Valores de k_{mod} para madera maciza.

Clase de servicio

La humedad de la madera influye en las propiedades mecánicas, de tal forma que al aumentar el contenido de humedad disminuyen las propiedades mecánicas. Para tener en cuenta este factor en las propiedades mecánicas se establecen tres clases de servicio en las que puede encontrarse la estructura.

La definición de estas clases es la siguiente:

Clase de servicio I: se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65 % unas pocas semanas al año. En esta clase el contenido de humedad medio de equilibrio higroscópico en la mayoría de las maderas de conífera no excede el 12%. Las estructuras bajo cubierta y cerradas, generalmente pertenecen a esta clase de servicio.

Clase de servicio 2: se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año. En esta clase el contenido de humedad medio de equilibrio higroscópico en la mayoría de las maderas de conífera no excede el 20%. Las estructuras bajo cubierta pero abiertas y expuestas al ambiente exterior, como es el caso de cobertizos, suelen considerarse como pertenecientes a esta clase de servicio. La estructura de una cubierta que se encuentre ventilada y en climas húmedos puede asignarse a esta clase de servicio.

Clase de servicio 3: condiciones climáticas que conduzcan a contenidos de humedad superiores al de la clase de servicio 2. En la clase de servicio 3 se encuentran las estructuras expuestas a la intemperie, en contacto con el agua o con el suelo. Como ejemplos se encuentran las pasarelas, embarcaderos, pérgolas, etc.

Clases de duración de la carga

La duración de la carga influye significativamente en la resistencia de la madera, de manera que cuanto mayor es la duración menor es la resistencia. Este es un factor de gran importancia en el cálculo de estructuras de madera.

Para tener en cuenta este efecto en la resistencia se establecen 5 clases de duración de la carga, a las que hay que asignar las acciones en particular. Cuando intervienen en una combinación de acciones varias de diferente duración el coeficiente de modificación k_{mod} se elige para la acción de menor duración de las que interviene en la combinación.

En la tabla E.3 se indican las clases de duración de la carga.

Clase de duración	Orden de duración acumulada	Ejemplos de cargas
	de la carga característica	
Permanente	más de 10 años	peso propio, tabiquería
Larga duración	6 meses - 10 años	apeos, andamios
Media duración	I semana - 6 meses	sobrecarga uso (*)
Corta duración	menos de una semana	nieve (**), viento
Instantánea	7.7.1	sismo

^(*) Las sobrecargas de uso se consideran generalmente de media duración aunque en algunas normativas se consideran de larga duración. En realidad una parte de la carga es permanente y otra de corta duración e intermitente.

Tabla E.3. Clases de duración de la carga.

^(**) La duración de la carga de nieve depende de las condiciones climáticas de la situación del edificio, pudiendo llegar a ser permanente.

E.2.3 Valores de cálculo de los efectos de las acciones

El valor de cálculo de una acción se define en la siguiente expresión:

$$F_{d} = \gamma_{E} \cdot F_{k} \tag{E.2}$$

siendo

 $\gamma_{\scriptscriptstyle E}$ coeficiente parcial de seguridad para las acciones. Sus valores son los siguientes:

Acciones permanentes: 1,35 Acciones variables : 1,50

En la combinación de acciones los coeficientes de las acciones variables se reducen ligeramente en función de la simultaneidad de las acciones.

F_k valor característico del efecto de la acción. En las cargas de carácter permanente es el valor medio. En las cargas variables se adopta un criterio probabilístico o un valor especificado. Estos valores se definen en la Norma Básica de la Edificación de Acciones en la Edificación (NBE-AE/88) o en otras normativas como el Eurocódigo 1.

Combinación de acciones

En la tabla E.4 se recogen los coeficientes parciales correspondientes a las acciones más habituales y con una versión simplificada para las combinaciones fundamentales, respecto a las expresiones que considera la norma UNE ENV 1990 de Bases de proyecto.

permanente	sobrecarga uso	nieve	viento
1,35 (0,90)	1,50 (0)	1,05 (0)	1,05 (0)
1,35 (0,90)	. 1,05 (0)	1,50 (0)	1,05 (0)
1,35 (0,90)	1,05 (0)	1,05 (0)	1,50 (0)

(); los valores entre paréntesis corresponden a situaciones en las que el efecto de la carga es favorable; por ejemplo el efecto de succión del viento, equilibrio estático o por variación de la resistencia de cálculo al variar el k

Tabla E.4. Combinaciones fundamentales.

Debido a que la resistencia de cálculo de la madera varía con la duración de la carga (a través del k_{mod}) podría darse el caso en el que una situación con menos acciones actuando simultáneamente de lugar a un agotamiento mayor de la estructura. Por este motivo no pueden descartarse, en principio, combinaciones de acciones más simples.

Como ejemplo se considera el caso de una estructura de cubierta sometida a las cargas siguientes: carga permanente (CP), nieve (N) y viento (V). Las combinaciones serán las siguientes:

Comb. 1: 1,35·CP

Comb. 2: 1,35·CP + 1,50·N

Comb. 3: 1,35·CP + 1,50·V

Comb. 4: $1,35 \cdot CP + 1,50 \cdot N + 1,05 \cdot V$ Comb. 5: $1,35 \cdot CP + 1,05 \cdot N + 1,50 \cdot V$

Comb. 6: 0,90·CP + 1,50·V (viento de succión)

E.2.4 Inestabilidad por pandeo y vuelco lateral

Pandeo de piezas comprimidas:

Para el análisis del efecto del pandeo de las piezas sometidas a compresión la normativa de cálculo utiliza un factor de reducción de la resistencia a compresión, denominado k_c ($k_c \le 1$), que multiplica a la resistencia a compresión paralela a la fibra, $f_{c,0,d}$. De esta manera se comprueba la capacidad de la pieza con una resistencia reducida equivalente al efecto del pandeo.

El factor de reducción (k_c) se obtiene a partir de la esbeltez mecánica de la pieza (relación entre longitud de pandeo y radio de giro) y de las propiedades mecánicas de la madera (clase resistente). En la tabla E.5 se recogen los valores de este factor para cada clase resistente y distintas esbelteces.

Clase	ESB	ELTE	Z ME	CAN	ICA E	ELA	PIEZ	Α: λ=	= I _{_/} i							
resistente	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	170	200
CI4	0.98	0.93	0.86	0.74	0.60	0.48	0.39	0.31	0.26	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.09	0.07
C16	0.99	0.94	0.87	0.77	0.64	0.51	0.41	0.34	0.28	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.10	0.07
CI8	0.99	0.94	0.88	0.78	0.65	0.53	0.43	0.35	0.29	0.24	0.21	0.18	0.15	0.14	0.11	0.08
C20	0.99	0.94	0.88	0.78	0.66	0.54	0.43	0.35	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.11	0.08
C22	0.99	0.94	0.88	0.78	0.66	0.53	0.43	0.35	0.29	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.11	0.08
C24	0.99	0.95	0.89	0.80	0.68	0.55	0.45	0.37	0.31	0.26	0.22	0.19	0.16	0.14	0.11	0.08
C27	0.99	0.95	0.89	0.79	0.67	0.55	0.45	0.37	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.11	0.08
C30	0.99	0.95	0.88	0.79	0.67	0.55	0.44	0.36	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.11	0.08
C35	0.99	0.95	0.88	0.79	0.67	0.55	0.45	0.36	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.11	0.08
C40	0.99	0.95	0.89	0.80	0.69	0.56	0.46	0.38	0.31	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	0.12	0.08
C45	0.99	0.95	0.89	0.81	0.69	0.57	0.47	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.17	0.15	0.12	0.09
C50	0.99	0.95	0.89	0.81	0.69	0.57	0.47	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.17	0.15	0.12	0.09
D30	0.99	0.95	0.88	0.79	0.67	0.55	0.44	0.36	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.11	0.08
D35	0.99	0.95	0.88	0.79	0.67	0.55	0.45	0.36	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.11	0.08
D40	0.99	0.95	0.89	0.80	0.69	0.56	0.46	0.38	0.31	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	0.12	0.08
D50	1.00	0.96	0.91	0.83	0.73	0.61	0.50	0.42	0.35	0.29	0.25	0.21	0.19	0.16	0.13	0.09
D60	1.00	0.96	0.92	0.85	0.76	0.65	0.54	0.45	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18	0.14	0.10
D70	1.00	0.97	0.93	0.87	0.79	0.69	0.58	0.49	0.41	0.35	0.30	0.26	0.22	0.20	0.16	0.11

Tabla E5. Valores de k para las clases resistentes de madera maciza.

Vuelco lateral de piezas flectadas:

La inestabilidad de las piezas flectadas rara vez presenta problemas en estructuras de grandes escuadrías como las que se encuentran en los edificios antiguos, debido a que la esbeltez de la sección suele ser muy baja. Es un tema de gran relevancia en las piezas de madera laminada encolada donde las luces y esbelteces de la sección son mucho más elevadas. En la madera aserrada pueden existir secciones de cierta esbeltez, pero generalmente se estabilizan lateralmente por clavado o atomillado al entablado superior, lo que elimina el problema.

Para la comprobación de la pieza a vuelco lateral se utiliza un factor de penalización, k_{crit} , $(k_{crit} \le l)$, de la resistencia de cálculo a flexión, fm,d, que es función de las dimensiones de la sección transversal (canto h y ancho b) y de la distancia entre puntos del cordón comprimido firmemente arriostrados transversalmente, l_{ef} Si en la viga no existen más puntos arriostrados que los apoyos esta longitud coincide con la luz de la viga.

En sección rectangular la relación entre h, b y lef puede expresarse mediante el siguiente coeficiente que se denomina de esbeltez en flexión, C_s ,

$$C_{\rm e} = \sqrt{\frac{I_{\rm ef} \cdot h}{b^2}}$$

En la tabla E.6 se da directamente el factor $k_{\rm crit}$ según la clase resistente de madera y el coeficiente de esbeltez geométrica de vuelco $C_{\rm e}$.

Clase	COE	FICIE	NTE	DE ES	BELT	EZ GE	OMÉ	TRIC	A EN F	LEXI	ON: C	e=(I _{ef}	·h/b²) ^{0,}	5	
resistente	. 10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
CI4	1.00	1.00	0.91	0.82	0.73	0.63	0.54	0.45	0.39	0.33	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18
CI6	1.00	1.00	0.91	0.82	0.73	0.64	0.54	0.46	0.39	0.34	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18
CI8	1.00	1.00	0.91	0.82	0.72	0.63	0.54	0.45	0.38	0.33	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18
***************************************						***********						*********		*********	*************
C20	1.00	0.99	0.90	0.80	0.71	0.61	0.52	0.43	0.37	0.32	0.28	0.24	0.22	0.19	0.17
C22	1.00	0.98	0.88	0.78	0.68	0.59	0.49	0.41	0.35	0.30	0.26	0.23	0.21	0.18	0.16
C24	1.00	0.98	0.88	0.79	0.69	0.59	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17
					NOME OF STREET	***************	***********	************	unnaturenten comer	***********	0400400400044400		MANAGEMENT OF THE PARTY OF THE	0000000000000000	200000000000000000000000000000000000000
C27	1.00	0.96	0.86	0.76	0.65	0.55	0.46	0.39	0.33	0.28	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15
C30	1.00	0.94	0.83	0.73	0.62	0.52	0.43	0.36	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	AND DESCRIPTION OF THE PROPERTY OF THE PROPERT
C35	1.00	0.91	0.81	0.70	0.59	0.48	0.40	0.34	0.29	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13
Seasonateleanoren erantura eran	0.0000000000000000000000000000000000000	sometanion neo	osososessess	nóminos no su marco de la companio del companio della companio del	000000000000000000000000000000000000000	WWW.		seconocimization and	000000000000000000000000000000000000000	manananananan	managamananan	sometien compression and		000000000000000000000000000000000000000	nonconsistence
C40	1.00	0.90	0.78	0.67	0.56	0.46	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	NATIONAL PROPERTY OF THE PARTY
C45	0.99	0.88	0.76	0.65	0.53	0.43	0.36	0.30	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	NAMES OF TAXABLE PARTY
C50	0.98	0.86	0.75	0.63	0.52	0.42	0.34	0.29	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12
\$886.08866660000000000000000000000000000	Negacini recamente	************	sommonoe en	000000000000000000000000000000000000000	000000000000000000000000000000000000000	******************	0000000000000		000000000000000000000000000000000000000		1020100000000000	BBURNESSON OF THE	00000000000000000000000000000000000000	NOVOMO GO O O O O	************
D30	1.00	0.94	0.83	0.73	0.62	0.52	0.43	0.36	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	NAMES OF TAXABLE PARTY.
D35	1.00	0.91	0.81	0.70	0.59	0.48	0.40	0.34	0.29	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15	***************
D40	1.00	0.90	0.78	0.67	0.56	0.46	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13
*************************					****	ana ang ang ang ang ang ang ang ang ang		nonoquajuojum	samojo prejet	armiden goden	unny deputy and and		and an age of the same	connegenium	escensiones como
D50	1.00	0.90	0.79	0.68	0.57	0.46	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	PRODUCTION OF THE PROPERTY OF
D60	1.00	0.90	0.79	0.68	0.57	0.46	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	NOOSAGEMENT NAMED OF THE OWNER, T
D70	1.00	0.90	0.79	0.68	0.57	0.47	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13

Tabla E.6. Factor de vuelco lateral k para madera maciza.

En el caso de voladizos la longitud eficaz a efectos de vuelco lateral es superior a la luz del vuelo (puede llegar hasta 2 veces la longitud del vuelo en el caso de momento aplicado en el extremo volado).

E.2.5 La deformación y la fluencia

Al someter una pieza de madera a una determinada carga, ésta sufre una deformación inicial, u_i , que se calcula mediante las fórmulas habituales en la resistencia de materiales. Si la carga se mantiene aplicada, la deformación sigue aumentando a un ritmo que cada vez se hace más lento, hasta que se estabiliza. Esta deformación bajo carga constante se denomina deformación diferida o de fluencia, u_a .

Para estimar la deformación diferida, la normativa de cálculo define un factor de fluencia, $k_{\text{def.}}$ que depende de la clase de servicio y de la duración de la carga, de tal forma que la deformación final, u_{so} , se obtiene por la siguiente expresión:

$$u_{fin} = u_i + u_d = u_i \cdot (1 + k_{def})$$

El valor de k_{def} se indica en la tabla E.7 para diversos tipos de carga.

Acción	Clase	de serv	icio
	1	2	3
Permanente	0,60	0,80	2,00
Sobrecarga de uso en viviendas y oficinas	0,18	0,24	0,60
Sobrecarga de uso en locales públicos de reunión y comerciales	0,36	0,48	1,20
Sobrecarga en almacenes	0,48	0,64	1,60
Sobrecarga de uso en cubiertas no transitables	0	0	0
Nieve	0	0	0
Viento	0	0	0

Tabla E.7 Valor del factor k, para la madera maciza.

La deformación debida a la actuación simultánea de varias cargas se obtiene sumando las deformaciones individuales con su correspondiente parte de fluencia.

La limitación de la deformación y en concreto de las flechas de las vigas, constituye el aspecto más relevante en la peritación de la estructura que trabaja a flexión. La normativa recomienda no superar 1/300 a 1/500 para la flecha inicial debida a las cargas variables, y 1/250 a 1/350 para la flecha final debida a todas las cargas.

E.2.6 Estabilidad al fuego

En este apartado se recoge de manera abreviada el método simplificado de la sección reducida que da la normativa. La comprobación de la estabilidad al fuego se efectúa comprobando la pieza con una sección reducida, con una resistencia mayor que la utilizada en situación normal de cálculo y sometida a acciones con intensidades menores.

La sección reducida se obtiene restando a las dimensiones de la sección transversal una profundidad carbonizada d_{col} en cada cara expuesta al fuego, según la siguiente expresión:

$$d_{cor} = \beta \cdot t + k_0 \cdot d_0$$

siendo,

β velocidad de carbonización (0,8 mm/min en coníferas y 0,5 en frondosas)

t tiempo de estabilidad al fuego requerido en minutos.

 k_0 coeficiente dependiente del tiempo t (para t < 20 min, $k_0 = t/20$; para $t \ge 20$ min, $k_0 = 1,0$).

 $d_0 = 7 \text{ mm}$

La resistencia en situación de incendio es más elevada que en la situación normal; el coeficiente parcial de seguridad es la unidad, el factor de modificación k_{mod} también se toma igual a la unidad y el valor característico se incrementa un 25 % en la madera maciza, con el fin de alcanzar el percentil 20. Así, la resistencia de cálculo en situación de incendio, X_{fd} , queda definida por la siguiente expresión:

$$X_{fd} = 1.25 \cdot X_k$$

siendo,

X_{rd} resistencia de cálculo en situación de incendio para una propiedad mecánica. X_e resistencia característica de la propiedad mecánica.

Finalmente, las acciones que se consideran en situación de incendio tienen intensidades muy inferiores a las de la situación normal. En la tabla E.8 se indica una versión simplificada de los coeficientes parciales que ponderan las acciones en su combinación para la situación de incendio.

	permanente	sobrecarga uso	nieve	viento	
	1,00 (0,90)	0,70 (0)	0,00 (0)	0,00 (0)	
***************************************	1,00 (0,90)	0,60 (0)	0,20 (0)	0,00 (0)	
20000000000	1,00 (0,90)	0,60 (0)	0,00 (0)	0,50 (0)	

(); los valores entre paréntesis corresponden a situaciones en las que el efecto de la carga es favorable; por ejemplo el efecto de succión del viento, equilibrio estático.

Tabla E.4 Coeficientes parciales en situación de incendio.

Como resumen de lo anterior se puede decir con cierta aproximación que la estructura de madera se calcula en situación de incendio con una sección reducida por efecto de la carbonización, pero con una resistencia de cálculo que es prácticamente el doble de la que se utiliza en situación normal, y un nivel de tensiones que es del orden de la mitad del correspondiente a la situación normal. Por lo tanto, la sección reducida después del tiempo requerido de incendio, deberá tener un módulo resistente mayor o igual a una cuarta parte del que tiene inicialmente, si se desea comprobar a flexión. Esto sirve como orientación rápida para estimar el cumplimiento de un determinado tiempo de estabilidad al fuego.

E.2.7 Efecto de la patología de origen biótico

El efecto de los daños de origen biótico se trata en el capítulo 3 «Diagnóstico». De manera abreviada se pueden resumir las ideas principales para estimar su incidencia en la peritación de la estructura:

Los ataques de hongos suelen plantear problemas de estabilidad más que de resistencia; normalmente por pérdida de la superficie de apoyo de las piezas.

Los ataques de insectos de ciclo larvario producen galerías que debilitan la parte externa de la sección. Puede estimarse su efecto descontando a las dimensiones de la sección la profundidad afectada por las galerías.

El ataque de termitas produce en las fases iniciales galerías que afectan a la zona externa de la sección. Pero pueden llegar a destruir casi por completo la pieza y en todo caso pueden presentar profundidades de ataque más variables que en el caso de los insectos de ciclo larvario.

La valoración de los daños de origen biótico debe ser previa a la peritación, ya que puede deducirse la inutilidad de seguir con el análisis, si el estado es muy pobre.

E3 PERITACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

En este apartado se desarrolla el proceso de comprobación de elementos estructurales de madera mediante ejemplos prácticos.

E.3.1 Vigas y viguetas

Forjado de madera maciza de conífera formado por viguetas biapoyadas, figura E.I, con las siguientes características:

Sección transversal de las viguetas: $140 \times 200 \text{ mm}$ (b x h)

Luz libre del forjado: 4 m. (luz de cálculo, I = 4 + 0,20 = 4,20 m)

Separación entre ejes de viguetas: 400 mm

Clase resistente: C18

$$E = E_{0,med} = 9.000 \text{ N/mm}^2$$

 $f_{mk} = 18 \text{ N/mm}^2$
 $f_{v,k} = 2,0 \text{ N/mm}^2$

Cargas: - carga permanente (peso propio + solado) = 2,30 kN/m²

- sobrecarga de tabiquería = 1 kN/m²

- sobrecarga de uso = 2 kN/m² (duración media)

Clase de servicio: l

a) Estimación de la flecha:

La flecha de una viga biapoyada con carga uniforme viene definida por la siguiente expresión

$$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot l}$$

donde,

q carga lineal

luz de la viga (4200 mm)

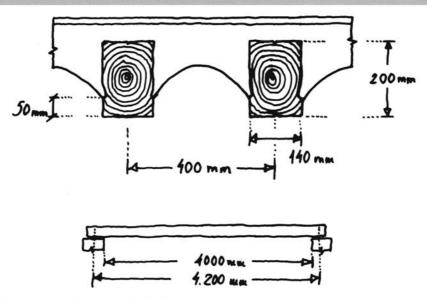


Figura E.1. Ejemplo de peritación de forjado.

E módulo de elasticidad (9.000 N/mm²)

momento de inercia de la sección ($b \cdot h^3 / 12 = 93.333.333 \text{ mm}^4$)

Se calculan las flechas debidas a la carga permanente y a la variable:

- carga permanente:
$$q_p = (2,3 + 1) \cdot 0,40 = 1,32 \text{ kN/m}; f_p = 6,3 \text{ mm}$$

- carga de uso:
$$q_{ij} = 2 \cdot 0.40 = 0.80 \text{ kN/m}; f_{ij} = 3.8 \text{ mm}$$

Luego la flecha inicial (sin fluencia) debida a las cargas variables es de 3,8 mm (I/I 105) y la flecha final debida a la carga total será: 6,3 (I+0,60) + 3,8 (I+0,18) = I4,5 mm (I/I 289). Los valores del factor de fluencia (I/I 289) se obtienen en la tabla E.7. Como puede comprobarse los resultados de flechas están dentro de los límites recomendados.

b) Resistencia a flexión:

La comprobación de la resistencia a flexión debe hacerse para las combinaciones posibles de acciones. En este caso, una primera combinación es la actuación exclusiva de la carga permanente y la segunda la actuación simultánea de carga permanente y uso. Esto es así debido a que la resistencia de la madera varía en función de la duración de la carga.

- Carga permanente:

$$M_{p,d} = 1,35 \cdot \frac{q_p \cdot l^2}{8} = 1,35 \cdot \frac{1,32 \cdot 4,2^2}{8} = 3,9293 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

El módulo resistente de la sección es $W=b\cdot h^2/6=933.333~mm^3$. La tensión máxima de flexión, σ_{md}

$$\sigma_{md} = \frac{M_{p,d}}{W} = \frac{3.929.300}{933.333} = 4,20 \text{ N/mm}^2$$

La resistencia de cálculo, f_{md}

$$f_{md} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 0.6 \cdot \frac{18}{1.3} = 8.3 \text{ N/mm}^2$$

Por lo que el índice de agotamiento de la sección será: $i_m = 4.2 / 8.3 = 0.50 < 1$. Se encuentra a un 50 % de su capacidad portante.

- Carga permanente y de uso:

$$M_d = 1,35 \cdot \frac{q_p \cdot l^2}{8} + 1,50 \cdot \frac{q_u \cdot l^2}{8} = 1,35 \cdot \frac{1,32 \cdot 4,2^2}{8} + 1,50 \cdot \frac{0,80 \cdot 4,2^2}{8} = 6,57531 \text{ kN·m}$$

Y la tensión de cálculo,

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{6.575.310}{933.333} = 7.0 \text{ N/mm}^2$$

La resistencia de cálculo, en esta situación es,

$$f_{md} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 0.8 \cdot \frac{18}{1.3} = 11.0 \text{ N/mm}^2$$

Por lo que el índice de agotamiento de la sección será: $i_m = 7 / 11 = 0.63 < 1$. Es decir, la vigueta está a un 63 % del agotamiento en flexión y la combinación más desfavorable es la actuación simultánea de ambas cargas.

Faltaría la consideración del efecto del vuelco lateral, pero como la vigueta se encuentra arriostrada en toda su longitud debido al relleno del entrevigado no tiene posibilidad de pandeo por vuelco lateral. De todas formas, el coeficiente de esbeltez geométrica $C_{\rm e}$, considerando que la viga sólo tuviera arriostrados las secciones de apoyo, sería igual a 6,5, que implica un valor del factor $k_{\rm crit}=1,00$, (véase tabla E.6).

c) Resistencia a cortante:

La resistencia a cortante se realiza únicamente para la combinación más desfavorable, que según lo deducido en el apartado anterior es la actuación simultánea de ambas acciones.

$$V_d = 1,35 \cdot \frac{q_p \cdot 1}{2} + 1,50 \cdot \frac{q_u \cdot 1}{2} = 1,35 \cdot \frac{1,32 \cdot 4,2}{2} + 1,50 \cdot \frac{0,80 \cdot 4,2}{2} = 6,2622 \text{ kN}$$

La tensión máxima de cortante, $\tau_{d'}$

$$\tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = 1.5 \cdot \frac{6.262}{28.000} = 0.335 \text{ N/mm}^2$$

La resistencia de cálculo, en esta situación es,

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_{v,k}} = 0.8 \cdot \frac{2}{1.3} = 1.23 \text{ N/mm}^2$$

Por lo que el índice de agotamiento de la sección será: $i_m = 0.335 / 1.23 = 0.27 < 1$. Es decir, la vigueta está a un 27 % del agotamiento en cortante.

En estos cálculos la carga debida a la tabiquería ha sido considerada como una carga permanente y constante. Sin embargo, para ser más precisos debería considerarse como una carga variable (y no constante) ya que puede variar en magnitud y en posición. Esto obligaría a que el coeficiente de ponderación de la carga de tabiquería fuera igual a 1,50 y no a 1,35, como se ha tomado. Las diferencias en los resultados son muy pequeñas (del orden del 3 %) y se ha optado por la simplificación de considerar la carga de tabiquería junto con la carga permanente, para facilitar la explicación.

d) Estabilidad al fuego:

Se desea comprobar si la pieza alcanza una estabilidad al fuego de 60 minutos. La profundidad de carbonización d_{a} , por cada cara expuesta será,

$$d_{\rm ef} = 0.8 \ \rm mm/min \cdot 60 \ min + 1.0 \cdot 7 \ \rm mm = 55 \ \rm mm$$

Luego la sección perderá 55 mm en el canto de 200 mm y por los laterales expuestos (franja de 50 mm que quedan bajo el entrevigado) perderá una profundidad de 55 mm que también se adentrará hacia los lados de la sección, figura E.2.

A favor de la seguridad, se puede considerar como sección residual una pieza de ancho igual a 140 mm y canto igual a 90 mm. Esta sección tiene un módulo resistente $W_r = 140 \cdot 90^2 / 6 = 189.000 \text{ mm}^3$.

El momento de cálculo en situación de incendio utiliza unos coeficientes de ponderación reducidos, de acuerdo con lo tratado anteriormente,

$$M_{f,d} = 1,00 \cdot \frac{1,32 \cdot 4,2^2}{8} + 0,70 \cdot \frac{0,80 \cdot 4,2^2}{8} = 4,1454 \text{ kN·m}$$

La tensión de cálculo es,

$$\sigma_{m,f,d} = \frac{M_{f,d}}{W_r} = \frac{4.145.400}{189.000} = 2,19 \text{ N/mm}^2$$

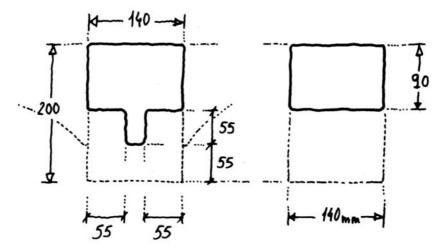


Figura E.2. Sección reducida por efecto del fuego.

La resistencia de cálculo.

$$f_{md} = 1,25 \cdot f_{mk} = 1,25 \cdot 18 = 22,5 \text{ N/mm}^2$$

Luego el índice de agotamiento es $i_{em} = 21.9 / 22.5 = 0.97 < 1.00$. Es válido y muy ajustado. De hecho si se evalúa la relación entre los módulos resistentes reducido e inicial se obtiene un valor de 0,20 (189.000 / 9333.333), valor no muy alejado del 0,25 que supone el posible cumplimiento del tiempo de estabilidad al fuego.

e) Conclusiones generales:

El ejemplo anterior es un caso típico de lo que se suele encontrar en la práctica. El criterio más limitante es la deformación que suele quedar muy ajustada o muchas veces por encima de las flechas recomendadas en las normativas actuales. Con esbelteces I/h mayores a 17 la flecha es el criterio más estricto.

Después, la resistencia a la flexión suele llegar a un agotamiento del orden del 60 al 70 % y finalmente la resistencia a cortante sólo llega a un 30 o 40 %. Por tanto, un primer tanteo es comprobar que la esbeltez (luz/canto) no supera el valor de 20 o 22.

En la comprobación de la estabilidad al fuego es decisiva la anchura de la sección, ya que si se encuentra expuesta al fuego en las caras laterales el avance de la carbonización es muy rápido.

E.3.2 Correas

Entramado de una cubierta formada con correas de madera de clase resistente C16 con las dimensiones y características indicadas a continuación, figura E.3.

Sección transversal de las correas: $100 \times 170 \text{ mm}$ (b x h)

Luz de la correa: 4,10 m Pendiente del faldón: 26°

Separación entre ejes de correas: 650 mm

Clase resistente: C16

 $E = E_{0,med} = 8.000 \text{ N/mm}^2$

 $f_{mk} = 16 \text{ N/mm}^2$ $f_{vk} = 1.8 \text{ N/mm}^2$

Cargas:

- carga permanente (peso propio + teja y entablado) = 0,85 KN/m²

- sobrecarga de nieve (por m^2 de faldón) = 0,65 kN/ m^2 (duración corta)

- presión = 0.08 kN/m^2 (duración corta) sobrecarga de viento,

- succión = -0.31 kN/m^2 (duración corta)

Clase de servicio:2

Acciones:

Las cargas por metro lineal son las siguientes:

 $q_{p} = 0.85 \text{ kN/m}^{2} \cdot 0.65 \text{ m} = 0.553 \text{ kN/m}$ Carga permanente:

 $q_0 = 0.65 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.65 \text{ m} = 0.423 \text{ kN/m}$ Carga de nieve: Carga de viento:

 $q_{vp}^{''} = 0.08 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.65 \text{ m} = 0.052 \text{ kN/m}$ $q_{vs} = -0.31 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.65 \text{ m} = -0.202 \text{ kN/m}$

Las cargas gravitatorias (permanente y nieve) provocan componentes de la fuerza en las dos direcciones principales de la sección $(q_y y q_z)$, mientras que el viento sólo presenta la componente perpendicular al faldón (q_y) . De esta forma, las componentes son las siguientes,

$$\begin{array}{l} q_{_{\rm NP}} = & 0.553 \cdot \cos \, 26^{\circ} = 0.497 \; {\rm kN/m} \\ q_{_{\rm Zp}} = & 0.553 \cdot \sin \, 26^{\circ} = 0.242 \; {\rm kN/m} \\ \end{array}$$

$$\begin{array}{l} q_{_{\rm NR}} = & 0.423 \cdot \cos \, 26^{\circ} = 0.380 \; {\rm kN/m} \\ q_{_{\rm ZR}} = & 0.423 \cdot \sin \, 26^{\circ} = 0.185 \; {\rm kN/m} \\ \end{array}$$

$$\begin{array}{l} q_{_{\rm NNP}} = & 0.052 \; {\rm kN/m} \\ q_{_{\rm ZNP}} = & 0 \\ \end{array}$$

$$\begin{array}{l} q_{_{\rm NNS}} = & -0.202 \; {\rm kN/m} \\ q_{_{\rm ZNS}} = & 0 \end{array}$$

Combinación de acciones:

Las combinaciones de acciones posibles son las siguientes:

Combinación	C. permanente	Nieve	Viento de presión	Viento de succión	
1	1,35	0	0	0	
2	1,35	1,50	0	0	
3	1,35	0	1,50	0	
4	0,90	0	0	1,50	
5	1,35	1,50	1,05	0	
6	1,35	1,05	1,50	0	

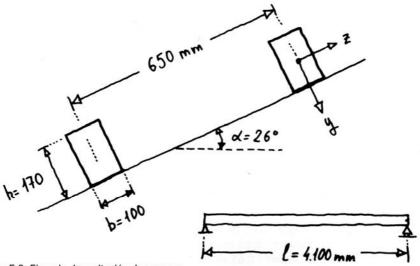


Figura E.3. Ejemplo de peritación de correas.

De las 6 combinaciones posibles, la más desfavorable es la combinación 5, teniendo en cuenta también el hecho de que la resistencia varía con la duración de la carga. Las comprobaciones que se realizan a continuación se reducen a esta combinación.

La combinación 4 pretende evaluar si existe seguridad frente a un posible levantamiento por efecto de la succión del viento, que como se puede comprobar no es relevante.

Propiedades de la madera y de la sección de la pieza:

La resistencia de cálculo a flexión de la madera de C16 en la clase de servicio 2 y para una duración de la carga corta (correspondiente a la combinación de acciones 5), es la siguiente,

$$f_{md} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_{kk}} = 0.90 \cdot \frac{16}{1.3} = 11.0 \text{ N/mm}^2$$

Las propiedades mecánicas de la sección son las siguientes:

$$I_{z} = \frac{100.170^{3}}{12} = 40.941.666 \text{ mm}^{4} \qquad I_{y} = \frac{170.100^{3}}{12} = 14.166.666 \text{ mm}^{4}$$

$$1 = \frac{170.100^{3}}{12} = 14.166.666 \text{ mm}^{4}$$

$$W_z = \frac{100 \cdot 170^2}{6} = 481.666 \text{ mm}^3$$
 $W_y = \frac{170.100^2}{6} = 283.333 \text{ mm}^3$

a) Estimación de la flecha:

Se comprueba la deformación en ambas direcciones principales de la sección (flecha en la dirección y y flecha en la dirección z):

$$f_{y,p} = \frac{5}{384} \frac{q_{y,p} \cdot l^4}{E \cdot l_z} = \frac{5}{384} \frac{0,497 \cdot 4100}{8.000 \cdot 40.941.666} = 5,57 \text{ mm}$$

Y análogamente para,

$$q_{yn} = 0,380$$
 N/mm; $f_{yn} = 4,25$ mm $q_{yvp} = 0,052$ N/mm; $f_{yvp} = 0,58$ mm

La flecha inicial debida a cargas variables, $f_i = 4.25 + 0.58 = 4.83$ mm (I/848 < I/300 a 500). La flecha final debida a la carga total, $f_{fin} = 5.57 \cdot (1 + 1.80) + 4.83 = 14.85$ mm (I/275 < I/250 a 350).

Luego la deformación es admisible en la dirección y.

La deformación debida a la carga permanente en la dirección z,

$$f_{yp} = \frac{5}{384} \frac{q_{zp} \cdot l^4}{E \cdot l_z} = \frac{5}{384} \frac{0.242 \cdot 4.100}{8.000 \cdot l \cdot 4.166.666} = 5,57 \text{ mm}$$

Y análogamente para la nieve,

$$q_{\rm z,n} = 0.185$$
 N/mm; $f_{\rm y,n} = 6.00$ mm

La flecha inicial debida a cargas variables, $f_i = 6,00 \text{ mm}$ (1/683 < 1/300 a 500).

La flecha final debida a la carga total, $f_{\rm fin} = 7.85 \cdot (1+1.80) + 6.00 = 20.13$ mm (1/203 >1/250 a 1/350).

Luego la deformación en la dirección z no cumple la especificación de la flecha debida a la carga total, aunque no queda muy alejada.

b) Resistencia a flexión:

La pieza se encuentra sometida a un estado de flexión esviada (con momentos flectores respecto a los dos ejes principales de la sección, z e y). Para la comprobación se calculan las tensiones de flexión debidas a cada momento flector y posteriormente se evalúa su agotamiento con una expresión en la que intervienen ambas tensiones.

Flexión respecto al eje z,

Los momentos flectores debidos a las cargas permanente, nieve y viento de presión son los siguientes:

$$M_{zp} = 0.497 \cdot 4.1^2 / 8 = 1.044 \text{ kN·m}$$

 $M_{zn} = 0.380 \cdot 4.1^2 / 8 = 0.798 \text{ kN·m}$
 $M_{zvp} = 0.052 \cdot 4.1^2 / 8 = 0.109 \text{ kN·m}$

El momento de cálculo será.

$$M_{zd} = 1,35 \cdot 1,044 + 1,50 \cdot 0,798 + 1,05 \cdot 0,109 = 2,720 \text{ kN·m}$$

Y la tensión de flexión,

$$\sigma_{mzd} = 2,720 \cdot 10^6 \text{ / } 481.666 = 5,64 \text{ N/mm}^2$$

Flexión respecto al eje y,

Los momentos flectores debidos a las cargas permanente y de nieve son los siguientes:

$$M_{yp} = 0.242 \cdot 4.1^2 / 8 = 0.508 \text{ kN·m}$$

 $M_{yp} = 0.185 \cdot 4.1^2 / 8 = 0.388 \text{ kN·m}$

El momento de cálculo será,

$$M_{\rm vd} = 1,35 \cdot 0,508 + 1,50 \cdot 0,388 = 1,2678 \, \text{kN·m}$$

Y la tensión de flexión,

$$\sigma_{mvd} = 1,2678 \cdot 10^6 / 283.333 = 4,47 \text{ N/mm}^2$$

La comprobación a flexión esviada consiste en el cumplimiento de las dos ecuaciones siguientes,

$$\frac{\sigma_{mzd} + 0.7 \cdot \sigma_{myd}}{f_{md}} \leq 1; \qquad \frac{0.7 \cdot \sigma_{mzd} + \sigma_{myd}}{f_{md}} \leq 1$$

En el ejemplo,

$$\frac{5,64+0,7\cdot 4,47}{11} = 0,79 \le 1; \qquad \frac{0,7\cdot 5,64+4,47}{11} = 0,76 \le 1$$

c) Resistencia a cortante:

La resistencia a cortante no suele ser relevante, como ya se ha visto en el caso de las viguetas de forjado, por lo que en este ejemplo no se comprueba. Únicamente puede tener importancia en el caso de luces muy cortas y cargas muy elevadas, o también cuando se realizan entalladuras o rebajes en las zonas de apoyo.

d) Estabilidad al fuego:

Se desea calcular si la pieza alcanza una estabilidad al fuego de 30 minutos. La profundidad de carbonización d_{ar} por cada cara expuesta será,

$$d_{ef} = 0.8 \text{ mm/min} \cdot 30 \text{ min} + 1.0 \cdot 7 \text{ mm} = 31 \text{ mm}$$

Suponiendo que la correa tiene 3 caras expuestas al fuego, la sección perderá 31 mm en el canto de 170 mm y 62 mm en el ancho de 100 mm, figura E.4.

La sección reducida tendrá unas dimensiones de 38×139 mm, con unos módulos resistentes $W_{zr} = 38 \cdot 139^2$ /6 = 122.366 mm³ y $W_{yr} = 139 \cdot 38^2$ /6 = 33.452 mm³.

Los momentos de cálculo en situación de incendio, utilizando los coeficientes de ponderación reducidos, de acuerdo con lo tratado anteriormente, alcanzan los valores siguientes,

$$M_{fzd} = 1 \cdot 1,044 + 0,20 \cdot 0,798 = 1,2036 \text{ kN·m}$$

 $M_{fyd} = 1 \cdot 0,508 + 0,20 \cdot 0,388 = 0,5856 \text{ kN·m}$

Las tensiones de cálculo son.

$$oldsymbol{\sigma}_{mz,d} = 1,2036 \cdot 10^6 \ / \ 122.366 = 9,83 \ N/mm^2 \ oldsymbol{\sigma}_{my,d} = 0,5856 \cdot 10^6 \ / \ 33.452 = 17,5 \ N/mm^2$$

La comprobación es,

$$\frac{9,83 + 0,7 \cdot 17,5}{20} = 1,10 > 1; \qquad \frac{0,7 \cdot 9,83 + 17,5}{20} = 1,21 > 1$$

Luego el índice de agotamiento es superior a la unidad, por lo que no alcanzaría la estabilidad al fuego de 30 minutos.

e) Otras acciones a considerar en el cálculo de cubiertas:

Las normativas de acciones suelen especificar para el cálculo otro tipo de acciones que en muchos casos son de mayor importancia que las cargas de nieve y viento. Así, la Norma Básica de la Edificación de Acciones en la Edificación especifica una sobrecarga de uso en azoteas accesibles sólo para conservación (que parece de aplicación en general a las cubiertas) de 100 kg/m² (1 kN/m²). Esta carga supera con frecuencia a la sobrecarga de nieve.

Además, especifica que todo elemento resistente: vigueta, cabio, correa, etc. debe calcularse

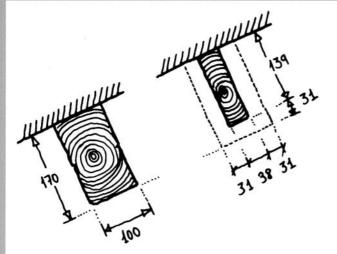


Figura E.4. Sección reducida por efecto del fuego.

para resistir una carga aislada de 100 kg (1 kN), en el punto más desfavorable y no simultánea con otras sobrecargas superficiales de uso. Su intención es dotar a las piezas pequeñas de la resistencia suficiente para soportar la carga concentrada del paso de personas sobre la cubierta.

El Eurocódigo I (Parte 2-I) especifica una carga de uso para las cubiertas no accesibles excepto para su mantenimiento que es variable con la pendiente del faldón. Para pendientes menores o iguales a los 20° se indican 0,75 kN/m² y para pendientes mayores de 40° la carga es nula; en pendientes intermedias el valor de la carga se obtiene por interpolación lineal. Además, la carga concentrada que especifica en cubiertas es de 1,5 kN.

Si se adoptan los valores de las cargas especificados en el Eurocódigo I se obtienen los siguientes resultados:

La carga superficial de mantenimiento para una pendiente de 26° es de $0.525 \, kN/m^2$ (interpolando entre 20° con $0.75 \, kN/m^2$ y 40° con $0 \, kN/m^2$). Este valor es menor que la carga de nieve de $0.65 \, kN/m^2$, y también se puede considerar de corta duración, por lo que su efecto será menor y no es necesario seguir con la comprobación.

La carga vertical concentrada de I,5 kN da lugar a dos componentes en las direcciones principales de la sección del par ($P_y = I$,348 kN y $P_z = 0$,657 kN). Los momentos flectores que se obtienen son.

$$M_z = 1,348 \cdot 4,1 \mid 4 = 1,3817 \text{ kN·m}$$

 $M_v = 0,657 \cdot 4,1 \mid 4 = 0,6734 \text{ kN·m}$

Los momentos de cálculo, respectivamente, son,

$$M_{zd} = 1,35 \cdot 1,044 + 1,50 \cdot 1,3817 = 3,4819 \text{ kN·m}$$

 $M_{yd} = 1,35 \cdot 0,508 + 1,50 \cdot 0,6734 = 1,6959 \text{ kN·m}$

Y las tensiones de flexión,

$$\sigma_{mzd} = 3,4819 \cdot 10^6 / 481.666 = 7,22 \text{ N/mm}^2$$
 $\sigma_{myd} = 1,6959 \cdot 10^6 / 283.333 = 5,98 \text{ N/mm}^2$

Y la comprobación de la flexión esviada,

$$\frac{7,22 + 0,7 \cdot 5,98}{11} = 1,036 > 1 \qquad \frac{0,7 \cdot 7,22 + 5,98}{11} = 1,003 > 1$$

Como puede observarse la sección de la correa no sería válida por sobrepasar el índice de agotamiento un 3,6 %. Para rebajar este índice, que por otro lado supera la unidad en muy poco, podrían disponerse codales o tirantillas que redujeran la flexión en el plano débil de la sección. En todo caso, puede observarse que la carga puntual puede dar lugar a situaciones más desfavorables que las cargas de nieve o de mantenimiento uniformemente repartidas.

E.3.3 Piezas traccionadas

E.3.3.1 Tracción simple (Pendolón)

Hay pocas piezas que trabajen simplemente a tracción axial. Un ejemplo típico es el pendolón. Esta pieza forma parte de las cerchas y sirve para realizar el encuentro entre los pares y las tornapuntas, figura E.5. Equilibra la resultante vertical de los empujes de los pares con los de las tornapuntas, de tal forma que queda sometida exclusivamente a tracción.

Por lo general está sobredimensionada por razones constructivas. El aspecto más crítico suele encontrarse en la capacidad de resistencia a cortadura en los cogotes de los extremos de la pieza. Los datos de este ejemplo son los siguientes:

Clase resistente: C22

Resistencia característica a tracción, $f_{\rm t0k}=13~{\rm N/mm^2}$ Resistencia característica a cortante, $f_{\rm vk}=2,4~{\rm N/mm^2}$

Clase de servicio: 2

Sección del pendolón: 160 x 220 mm (sección neta: 160 x 120 mm, figura E.6)

El axil de tracción que resulta más desfavorable después del análisis de las situaciones de cálculo

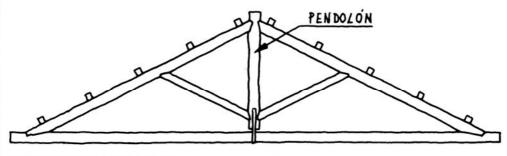


Figura E.5. Pendolón de una cercha.

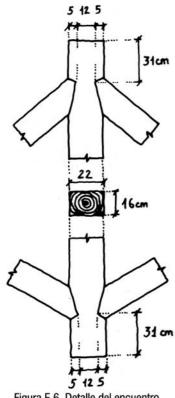


Figura E.6. Detalle del encuentro del pendolón con los pares y las tornapuntas.

es N_d = 26,24 kN y corresponde a una combinación en la que la acción de duración más breve es de corta duración.

Las resistencias de cálculo a tracción y a cortante son las siguientes:

$$f_{t0d} = k_{mod} \cdot f_{t0k} / \gamma_{M} = 0.90 \cdot 13 / 1.3 = 9.00 \text{ N/mm}^{2}$$

 $f_{vd} = k_{mod} \cdot f_{vk} / \gamma_{M} = 0.90 \cdot 2.4 / 1.3 = 1.66 \text{ N/mm}^{2}$

La tensión de tracción axial debe obtenerse con el área neta de la sección, es decir, descontando los rebajes realizados,

$$\sigma_{\text{t,0,d}} = \frac{N_d}{A_{\text{neta}}} = \frac{26.240}{160 \cdot 120} = 1,36 \text{ N/mm}^2$$

Luego la comprobación será,

$$\frac{\sigma_{c0d}}{f_{t0d}} = \frac{1,36}{9} = 0,15 < 1$$

La tensión de cortante sobre el plano de rotura por deslizamiento del cogote se obtiene repartiendo el axil entre las dos superficies,

$$\tau_d = \frac{26.240}{2.160.310} = 0,68 \text{ N/mm}^2$$

El índice de agotamiento por cortante será,

$$\frac{\tau_d}{f_{s,t}} = \frac{0.68}{1.66} = 0.41 < 1$$

Como puede observarse el agotamiento de la pieza es mayor por el cortante en el cogote que por la tracción.

E.3.3.2 Flexotracción (Tirantes de un sistema de par y nudillo)

Se trata de analizar el estado de agotamiento de un tirante de madera que equilibra los empujes horizontales de unas formas de par y nudillo, además de soportar un falso techo y la posibilidad de una carga de uso concentrada de 1,50 kN, figura E.7.

Clase resistente: C18 Clase de servicio: 1

Sección del tirante: 100 x 200 mm

Se supone que la situación de cálculo más desfavorable tiene como carga de menor duración una acción de corta duración. Por tanto, las resistencias de cálculo a tracción axial, flexión y cortante, serán respectivamente,

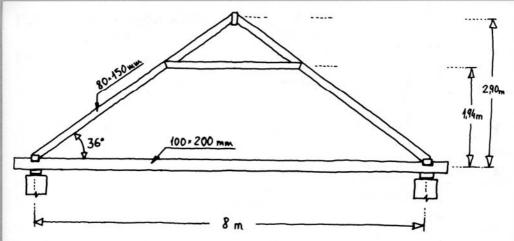


Figura E.7. Tirantes de un sistema de formas de par y nudillo.

$$\begin{array}{l} f_{_{L0,d}} = k_{_{mod}} \cdot f_{_{L0,k}} \, / \, \gamma_{_{M}} &= 0.90 \cdot 11 \, / \, 1.3 \, = 7.61 \, \text{N/mm}^2 \\ f_{_{md}} = k_{_{mod}} \cdot f_{_{mk}} \, / \, \gamma_{_{M}} &= 0.90 \cdot 18 \, / \, 1.3 \, = 12.46 \, \text{N/mm}^2 \\ f_{_{V,d}} = k_{_{mod}} \cdot f_{_{V,k}} \, / \, \gamma_{_{M}} &= 0.90 \cdot 2.0 \, / \, 1.3 \, = 1.38 \, \text{N/mm}^2 \end{array}$$

Cada forma de par y nudillo provoca un empuje horizontal en el apoyo cuyo valor de cálculo es $H_d=6~kN$. Este empuje es resistido por el estribo que queda anclado en su encuentro con los tirantes, figura E.8. Existe un tirante por cada tres formas, luego a cada tirante le corresponde un axil de tracción igual a 3 veces el empuje de una forma, $N_d=18~kN$.

Este axil produce una tensión de tracción axial de valor,

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{18.000}{100 \cdot 200} = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

El peso propio del tirante produce una flexión del mismo que alcanza un momento máximo en el centro del vano, cuyo valor de cálculo es $M_d = 0.90 \; kN \, m$. La tensión de flexión que origina es la siguiente,

$$\sigma_{md} = \frac{0.90 \cdot 10^6}{100 \cdot 200^2 / 6} = 1.35 \text{ N/mm}^2$$

La comprobación del agotamiento en flexotracción en el centro del vano del tirante, se realiza mediante la siguiente expresión,

$$\frac{\sigma_{\text{t,0,d}}}{f_{\text{t,0,d}}} + \frac{\sigma_{\text{m,d}}}{f_{\text{m,d}}} = \frac{0.90}{7.61} + \frac{1.35}{12.46} = 0.22 < 1$$

En el apoyo la sección del tirante queda rebajada en una profundidad de 50 mm para alojar y trabar el estribo, figura E.8. Por tanto, la sección neta será menor (100 x 150 mm) y el axil de tracción de 18 kN quedará desviado del centro de la sección neta una distancia de 25 mm.

El axil provocará una tensión de tracción de valor,

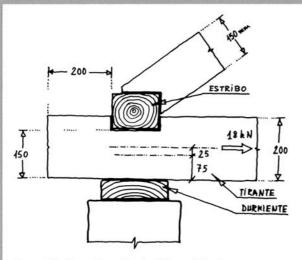


Figura E.8. Encuentro entre el estribo y el tirante.

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{18.000}{100 \cdot 150} = 1,20 \text{ N/mm}^2$$

El descentramiento del axil produce un momento flector $M_d = 0.025~m \cdot 18~kN = 0.45~kN \cdot m$, que provoca una tensión de flexión en la sección neta de valor,

$$\sigma_{md} = \frac{0.45 \cdot 10^6}{100 \cdot 150^2 / 6} = 1.20 \text{ N/mm}^2$$

Por tanto, la comprobación en esta sección de apoyo será,

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,20}{7,61} + \frac{1,20}{12,46} = 0,25 < 1$$

Se observa que se alcanza un agotamiento ligeramente superior al obtenido en el centro del vano del tirante.

Finalmente, se puede comprobar la resistencia a cortante del cogote que tiene una longitud de 200 mm. La tensión de cortante sobre el plano de rotura por deslizamiento del cogote se obtiene repartiendo el axil entre la superficie,

$$\tau_d = \frac{18.000}{100 \cdot 200} = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

El índice de agotamiento por cortante será,

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0.90}{1.38} = 0.65 < 1$$

Como puede observarse el agotamiento de la pieza es mayor por el cortante en el cogote que por la flexotracción.

E.3.4 Piezas comprimidas

E.3.4.1 Compresión simple (Pie derecho aislado)

Pie derecho de un soportal de una edificación de dos plantas, figura E.9. Los datos son lo siguientes,

Sección: 200 x 200 mm Clase resistente: C18 Clase de servicio: 3

Axil debido a las cargas permanentes: $N_{\rm p} = 80 \; \rm kN$

Axil debido a las cargas variables: $N_v = 20$ kN. Por simplificar se han agrupado las cargas variables de uso y de nieve en esta fuerza. Su duración se considera media.

El soporte se comprueba como una pieza comprimida axialmente y con posibilidad de pandeo en ambos planos principales, por encontrarse exento. Existen dos situaciones de cálculo,

- Carga permanente únicamente; con un axil y resistencia de cálculo de valores,

$$N_d = 1,35 \cdot 80 = 108 \text{ kN}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,50 \cdot \frac{18}{1,3} = 6,92 \text{ N/mm}^2$$

La tensión de cálculo que origina este axil es,

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{108.000}{200 \cdot 200} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

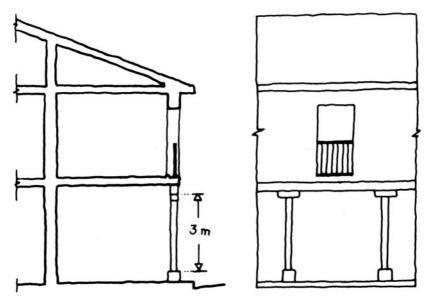


Figura E.9. Pie derecho de un soportal.

- Carga permanente y carga variable; con los siguientes valores del axil y resistencia de cálculo,

$$N_d = 1,35 \cdot 80 + 1,50 \cdot 20 = 138 \text{ kN}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{c,k}} = 0,65 \cdot \frac{18}{1,3} = 9 \text{ N/mm}^2$$

La tensión de cálculo que origina este axil es,

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{138.000}{200 \cdot 200} = 3,45 \text{ N/mm}^2$$

Se observa que la situación más desfavorable es, en este caso, la actuación de la carga permanente, ya que da lugar a una relación más desfavorable; por tanto, a continuación se realiza la comprobación para esta situación.

Para considerar el efecto del pandeo se determina la esbeltez geométrica de la pieza, λ , que es la misma para ambas direcciones, obtenida como relación entre la longitud eficaz de pandeo, I_{er} y el radio de giro de la sección, i. Y a partir de este valor se obtiene en la tabla E.5 el valor del factor de pandeo, k_{er} ,

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{300}{0.288 \cdot 20} = 52.08 = k_c = 0.75$$

EL índice de agotamiento es la relación entre la tensión aplicada y la resistencia penalizada por el factor de pandeo. Como puede comprobarse el soporte será válido a estos efectos,

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_c \cdot f_{t,0,d}} = \frac{2,7}{0,75 \cdot 6,92} = 0,52 < 1$$

Finalmente, hay un aspecto a comprobar en este ejemplo que es la compresión perpendicular a la fibra en el encuentro con la zapata o el dintel. La tensión paralela a la fibra en el pilar se convierte en perpendicular a la fibra para la zapata; en esta dirección la resistencia es mucho más baja y suele ser crítica, figura E.10.

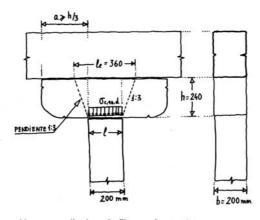


Figura E.10. Compresión perpendicular a la fibra en la zapata.

La resistencia de cálculo en dirección perpendicular a la fibra se obtiene de la siguiente expresión.

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0.50 \cdot \frac{2.2}{1.3} = 0.84 \text{ N/mm}^2$$

La tensión de compresión perpendicular a la fibra alcanza el mismo valor que la paralela, al tener la misma sección de contacto entre pie derecho y zapata,

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{108.000}{200 \cdot 200} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

Se puede observar que la resistencia es mucho más baja que la tensión de cálculo, por lo que en principio no sería válida. La normativa de cálculo define un coeficiente de aumento de la resistencia a compresión perpendicular, $k_{_{C90}}$, que mejora la situación.

Si el canto de la pieza que recibe la compresión perpendicular (h = 240 mm en la zapata) es menor o igual que 2,5 veces el ancho de la misma ($2,5 \cdot 200 = 500 \text{ mm}$) y además se cumplen las condiciones siguientes,

- Se acepta una deformación del 10 % del canto de la pieza.
- El apoyo de la pieza se realiza en continuo, como es el caso de la zapata en contacto con el dintel.

El coeficiente k_{c90} , se elige como el mayor valor del que resulta de las dos siguientes expresiones, sin superar el valor de 4,

$$k_{c,90} = 1.0$$

$$k_{c,90} = \left\{ 2.38 - \frac{1}{50} \right\} \cdot \sqrt{\frac{I_e}{I}} = \left\{ 2.38 - \frac{200}{250} \right\} \cdot \sqrt{\frac{360}{200}} = 2.12$$

Los valores de l y l_e se expresan en mm y se definen en la figura E.10.

La comprobación de la resistencia se expresa en la siguiente ecuación,

$$\frac{\sigma_{c90,d}}{k_{c90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{2,7}{2,12 \cdot 0,84} = 1,50 > 1$$

Puede observarse que el índice de agotamiento es superior a la unidad, por lo que no sería válido a estos efectos.

En este anexo, las tablas de las clases resistentes definidas en la norma UNE EN 338, corresponden al nuevo borrador que será aprobado en un plazo del orden de un año. Con respecto a la versión anterior de la norma, las resistencias a compresión perpendicular a la fibra han quedado reducidas prácticamente a la mitad. Es frecuente encontrar índices de agotamiento superiores a los admisibles aunque no se observan problemas de aplastamiento. Si no se realizan ensayos para la determinación del valor característico a compresión perpendicular a la fibra, su valor se puede obtener a partir del valor característico de la densidad; es posible que la densidad asignada a la clase resistente en la norma UNE EN 338 sea pobre para su aplica-

ción a piezas de madera antigua y de gran escuadría. Esto último puede explicar las diferencias que existen entre la realidad y el resultado del cálculo.

E.3.4.2 Flexocompresión (Par de una cercha)

Par de una cercha de pendolón y tomapuntas con una sección de 160×220 mm de clase resistente C22 y situada en una clase de servicio 2, figura E.II.

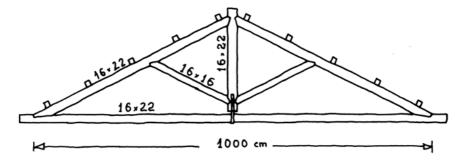


Figura E.11. Comprobación del par de la cercha.

Se supone que la situación de cálculo más desfavorable para el par corresponde a una combinación de acciones cuya carga de menor duración es de corta duración. La ley de esfuerzos axiles y momentos flectores en el par para esta combinación es la representada en la figura E.12.

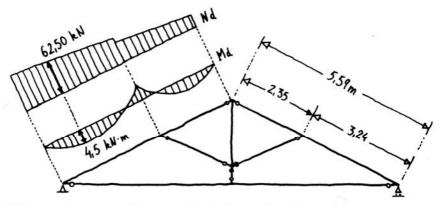


Figura E.12. Leyes de esfuerzos axiles y momentos flectores en el par de la cercha.

El par se encuentra sometido a flexocompresión con posibilidad de pandeo en ambos planos. Los valores de cálculo del axil y del momento flector en la sección intermedia de la barra inferior son los siguientes:

$$N_d = 62,50 \text{ kN}$$

 $M_d = 4,5 \text{ kN·m}$

Las tensiones de compresión y de flexión son las siguientes:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{62.500}{160 \cdot 200} = 1,77 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{4,5 \cdot 10^6}{160 \cdot 220^2/6} = 3,48 \text{ N/mm}^2$$

Las resistencias de cálculo son,

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0k}}{\gamma_{M}} = 0.90 \cdot \frac{20}{1.3} = 13.84 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{md} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 0.90 \cdot \frac{22}{1.3} = 15.23 \text{ N/mm}^2$$

Para la consideración del pandeo se debe determinar la longitud eficaz de pandeo en ambos planos principales. Para el pandeo en el plano de la cercha puede tomarse como longitud eficaz 0,8 veces la longitud del vano inferior (324 cm) y para el pandeo en el plano perpendicular a la cercha dependerá de los puntos que queden arriostrados transversalmente; el caso más desfavorable es que únicamente se encuentren fijos transversalmente la sección del apoyo y la sección de la cumbrera, donde se encuentran los pares con el pendolón. En este caso la longitud eficaz de pandeo será igual a la distancia entre ambas secciones (559 cm). Esta situación podría mejorarse si alguna de las correas inmovilizan adecuadamente secciones intermedias del par.

Los factores de penalización de la resistencia a compresión se obtienen a partir de las esbelteces geométricas,

Pandeo en el plano de la cercha:

$$\lambda_{y} = \frac{I_{ef,y}}{i_{y}} = \frac{0.8 \cdot 324}{0.288 \cdot 22} = 41 = k_{c,y} = 0.87$$

Pandeo en el plano perpendicular a la cercha:

$$\lambda_z = \frac{I_{efz}}{i_z} = \frac{559}{0.288 \cdot 16} = 121 = k_{cz} = 0.227$$

La comprobación según la norma consiste en el cumplimiento de las siguientes expresiones,

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,77}{0,87 \cdot 13,84} + \frac{3,48}{15,23} = 0,37 < 1$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + 0.7 \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} = \frac{1.77}{0.227 \cdot 13.84} + 0.7 \cdot \frac{3.48}{15.23} = 0.72 < 1$$

Puede observarse que en esta comprobación el término de la flexión aparece reducido por un factor de 0,7 cuando la flexión debida al pandeo se introduce en el plano perpendicular al de flexión debida a las cargas.

Además de esta comprobación se debe analizar el agotamiento de la sección correspondiente al punto de encuentro con la tornapunta. Se trata de una sección que tiene unas solicitaciones algo menores que las del vano, pero que además presenta un rebaje debido al ensamble. En esta sección puede hacerse un análisis de las tensiones local, sin tener en cuenta el efecto del pandeo y que por lo general da lugar a niveles de agotamiento menores (Argüelles et al., 2000).

E.3.5 Uniones tradicionales (Ensamble de par y tirante)

Las uniones tradicionales o carpinteras propias de las estructuras antiguas en madera maciza suelen realizarse mediante rebajes y cajeados en las piezas diseñados para transmitir los esfuerzos a través de compresiones localizadas y tensiones tangenciales. Un ejemplo típico es el encuentro entre el par y el tirante de una cercha. A continuación se hace un análisis simplificado de la comprobación de un nudo de este tipo.

Ensamble en barbilla entre el par y el tirante representado en la figura E.13 con los datos siguientes,

Clase resistente: C22 Clase de servicio: 2

Valores de cálculo de las solicitaciones en una combinación cuya acción de menor duración es de corta duración:

Axil de tracción en el tirante: $N_{td} = 54,48 \text{ kN}$

Reacción en el apoyo: $R_d = 35,49 \text{ kN}$

Dimensiones relevantes:

a = 492 mm

b = 160 mm

e = 44 mm

L = 250 mm

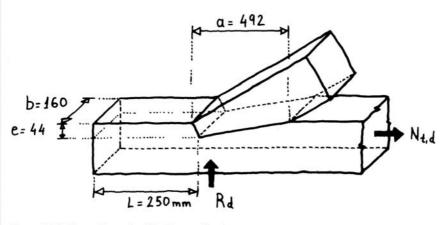


Figura E.13. Ensamble en barbilla de par y tirante.

Las resistencias de cálculo son las siguientes,

$$\begin{array}{l} f_{c,90,d} = 0.9 \cdot 2.4 \ / \ 1.3 = 1.66 \ N/mm^2 \\ f_{c,0,d} = 0.9 \cdot 20 \ / \ 1.3 = 13.8 \ N/mm^2 \\ f_{w,d} = 0.9 \cdot 2.4 \ / \ 1.3 = 1.66 \ N/mm^2 \end{array}$$

Las comprobaciones que deben hacerse de manera simplificada son las siguientes,

Comprobación de la resistencia a compresión perpendicular a la fibra para el reparto de la reacción sobre la superficie a \times b, o también sobre el durmiente de apoyo si éste tuviera menor superficie,

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d}{a \cdot b} = \frac{35.490}{492.160} = 0.45 \text{ N/mm}^2$$

Comprobación de la resistencia a compresión paralela a la fibra sobre la superficie $e \times b$ para el reparto del axil de tracción del tirante,

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{td}}{e \cdot b} = \frac{54.480}{44 \cdot 160} = 7,73 \text{ N/mm}^2$$

Comprobación de la resistencia a cortadura en el plano de deslizamiento del cogote de la unión de superficie $L \times b$,

$$\tau_{c,0,d} = \frac{N_{t,d}}{L \cdot b} = \frac{54.480}{250 \cdot 160} = 1,36 \text{ N/mm}^2 \qquad ; \qquad \frac{\tau_{\tau,d}}{f_{v,d}} = \frac{1,36}{1,66} = 0,82 < 1$$

El punto más crítico es la longitud del cogote, con un índice de agotamiento de 0,82.

Referencias bibliográficas:

Argüelles, R., Arriaga, F y Martínez, J.J. (2000). Estructuras de madera. Diseño y cálculo. AITIM, Madrid, 663 páginas.

Normativa:

NBE AE-88. Norma Básica de la Edificación de Acciones en la edificación. Ministerio de Fomento, 1999.

UNE EN 338. Madera estructural. Clases resistentes.

prEN 338: 2001. Structural timber. Strength classes.

UNE ENV 1995-1-1. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.

prEN 1995-1-1. Eurocódigo 5: Borrador de noviembre de 2001 de la futura norma UNE EN 1995-1-1.

UNE ENV 1995-1-2. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales - Cálculo en situación de incendio.

UNE ENV 1991-2-1. Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-1: Acciones en estructuras. Densidades, pesos propios y cargas exteriores.