

MADERA EN CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS: INFORMACIÓN GENERAL

CONSTRUCCIÓN EN MADERA

La utilización de la madera como sistema constructivo o como elemento estructural ha acompañado al hombre a lo largo de toda la historia. Al principio, junto a la piedra, era el principal elemento constructivo. Posteriormente aparecieron nuevos materiales que relegaron su utilización. Actualmente la evolución de su tecnología permite obtener productos estructurales más fiables y económicos, y su mejor conocimiento, tanto desde el punto de vista estructural como ecológico y medioambiental, la permite competir con el resto de los materiales estructurales.

Desde el punto de vista ecológico, la energía necesaria para la fabricación de la madera es nula (el árbol utiliza la energía solar) y la energía consumida en el proceso de su transformación es muy inferior a la requerida por otros materiales:

- 1 tonelada de madera: 430 Kwh
- 1 tonelada de acero: 2.700 Kwh
- 1 tonelada de aluminio: 17.000 kwh

Si se comparan las propiedades de la madera como material estructural con las del acero o el hormigón, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- a) Elevada resistencia a la flexión, sobre todo en relación a su peso propio (la relación resistencia/peso es 1,3 veces superior a la del acero y 10 veces la del hormigón).
- b) Alta capacidad de resistencia a tracción y compresión en dirección paralela a la fibra.
- c) Escasa resistencia a cortante. Esta limitación se presenta también en el hormigón pero no en el acero.
- d) Escasa resistencia a compresión y a tracción en dirección perpendicular a la fibra. Sobre todo en tracción, lo que supone una característica muy particular frente a los otros materiales.
- e) Bajo módulo de elasticidad, mitad que el del hormigón y veinte veces menor que el del acero. Los valores alcanzados por el módulo de elasticidad inciden sustancialmente sobre la deformación de los elementos resistentes y sus posibilidades de pandeo. Este valor neutraliza parte de la buena resistencia a la compresión paralela a la cual se ha hecho referencia anteriormente.
- f) Buen comportamiento en situación de incendio.

La información sobre este tema se ha organizado en los siguientes bloques informativos:

- Propiedades mecánicas de la madera
- Fuego
- Introducción al Cálculo de Estructuras de madera
- Madera aserrada estructural
- Madera laminada encolada
- Tableros derivados de la madera estructurales
- Perfiles de madera microlaminada
- Casas de madera
- Estructuras de madera antiguas
- Ejemplos de construcciones en madera

CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

La seguridad que se obtiene mediante el cálculo estructural en las construcciones de madera es la misma que la conseguida con los restantes materiales estructurales. Los criterios de seguridad especificados en la reciente normativa de cálculo son los mismos para todos los materiales y por tanto en ese aspecto no presenta ninguna diferencia.

El cálculo de estructuras de madera está basado en los estados límites de acuerdo con los principios definidos en el Eurocódigo 5 (ENV 1995 - 1 - 1), cuyo enfoque se basa en comprobar la resistencia del material correspondiente a un determinado estado límite y unas condiciones de servicio. El estado límite último se refiere al agotamiento de la estructura por tensión, estabilidad o equilibrio. El estado límite de servicio se refiere a la aptitud de servicio de la estructura frente a los desplazamientos y a las vibraciones.

Actualmente se está desarrollando el Código Técnico de la Edificación, en el que se incluye una parte dedicada a las estructuras de madera que se basa en el Eurocódigo 5.

La filosofía del cálculo de estructuras, teniendo en cuenta la matización anterior, sigue siendo la de siempre, se ha de cumplir que:

- la tensión (flexión, compresión, tracción y cortante) obtenida en el cálculo teórico que debe resistir el elemento de madera (σ_d) es inferior a la tensión que es capaz de soportar el elemento de madera. La tensión que es capaz de soportar el material (f_d) se obtiene mediante ensayos normalizados y se modifica por una serie de coeficientes.
- que la deformación del elemento de madera (U_d) es inferior a la deformación especificada ($U_{\text{especificada}}$)
- en algunas situaciones también se ha de comprobar la estabilidad del elemento o de la estructura, como por ejemplo el pandeo, y otros aspectos específicos como las uniones, etc.

Resistencia del material

La tensión que es capaz de resistir el elemento de madera (f_d) se determina utilizando sus valores característicos (de la madera aserrada, de la madera laminada, de los tableros derivados de la madera o de productos compuestos de madera, etc.) obtenidos mediante ensayos (f_k) y que suelen estar normalizados o, en su defecto, son aportados por el fabricante. Este valor característico se modifica por dos coeficientes, uno relativo a la duración de la carga y contenido de humedad del elemento o clase de servicio (K_{mod}), y el otro relativo al propio material (γ_M coeficiente de seguridad del material).

$$f_d = K_{\text{mod}} \times f_k / \gamma_M$$

Tensión de cálculo

La tensión de cálculo que debe resistir el elemento (σ_d) se determina utilizando las fórmulas habituales de resistencia de materiales introduciendo el valor de carga más desfavorable (F_d) obtenida de la combinación de los valores de las cargas permanentes ($F_{k, \text{perm}}$) y de las cargas variables ($F_{k, \text{var}}$) aplicadas sobre dicho elemento de madera. El valor de la carga se modifica por unos coeficientes de seguridad (γ_k) relacionados con el tipo de carga. En general, los coeficientes de seguridad para las acciones son 1,35 para las cargas permanentes y 1,50 para las cargas variables.

Para más información sobre los coeficientes (γ_k) consultese la bibliografía técnica o la publicación de AITM “Estructuras de madera. Diseño y Cálculo”.

Deformación

La madera es un material elástico y plástico, por lo que a la hora del cálculo de las deformaciones habrá que tener en cuenta esta particularidad. La deformación total (μ_t) será la suma de una deformación inicial instantánea (μ_i) y una deformación diferida producida por fluencia que, a efectos de cálculo, se obtiene como una proporción de la deformación inicial en función del tipo de material, de la duración de la carga y de la clase de servicio ($k_{def} \times \mu_i$).

$$\mu_t = \mu_i (1 + k_{def})$$

Valores característicos - madera y productos derivados de la madera

Los valores característicos de resistencia (flexión, compresión, tracción y cortante) se definen como los valores correspondientes al 5º percentil de la población, obtenidos de los resultados de ensayos utilizando probetas grandes con una humedad de equilibrio higroscópico correspondiente a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del aire del 65 %.

Los valores característicos de rigidez (módulos de elasticidad) se definen como los correspondientes al 5º percentil o a la media de la población para las mismas condiciones de ensayo definidas en el párrafo anterior.

El valor correspondiente al 5º percentil de las resistencias y del módulo de elasticidad se utilizan en las comprobaciones de resistencia y de inestabilidad (pandeo). El valor medio del módulo de elasticidad se emplea en el cálculo de las deformaciones.

La densidad característica se define como el 5º percentil de la población calculada con la masa y el volumen correspondientes a la humedad de equilibrio higroscópico con el ambiente a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del 65 %.

El valor de la densidad característica se utiliza en el proceso de comprobación de las uniones.

Los ensayos que se utilizan para la determinación de los valores están recogidos en las correspondientes normas españolas y europeas.

Los valores característicos de la madera están normalizados o en su defecto se aportan por el fabricante mediante un informe emitido por un organismo acreditado (ver Bloque de Productos estructurales).

- Madera aserrada estructural	UNE EN 338
- Madera laminada encolada	UNE EN 1194
- Tableros de partículas	UNE EN 12.369
- Tableros de virutas orientadas (OSB)	UNE EN 12.369
- Tableros de fibras duros	UNE EN 12.369
- Tableros de fibras de densidad media (MDF)	UNE EN 12.369
- Tableros contrachapados	Informe del fabricante / organismo
- Tableros laminados	Informe del fabricante / organismo

- Productos compuestos de la madera

Informe del fabricante / organismo

Información adicional

1.- Clases de servicio

La humedad de la madera influye significativamente en las propiedades mecánicas y debe tenerse en cuenta en el cálculo. Para ello, las estructuras quedan asignadas a una de las clases de servicio:

- Clase de servicio 1

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.

El contenido de humedad medio de equilibrio higroscópico de la madera no excede el 12%.

Ejemplo: estructuras bajo cubierta y cerradas

- 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.

El contenido de humedad medio de equilibrio higroscópico de la madera no excede el 20%

Ejemplo: estructuras bajo cubierta pero abiertas y expuestas al ambiente exterior, también se incluyen a las piscinas cubiertas.

- Clase de servicio 3:

Condiciones climáticas que conduzcan a contenidos de humedad superiores al de la clase de servicio 2.

Ejemplos: pasarelas, embarcaderos, pérgolas, etc.

2.- Coeficiente parcial de seguridad para el material = γ_M

Estados límites últimos

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

Estados límites de servicio: 1,0

3.- Factor de modificación = k_{mod}

Tiene en cuenta el efecto de la duración de la carga y del contenido de humedad en los valores resistentes. En la tabla se recogen sus valores para madera maciza,

laminada y tablero contrachapado, para los otros productos existen tablas similares.

Clase de duración de la carga	Clase de servicio		
	1	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
Corta duración	0,90	0,90	0,70
Instantánea	1,10	1,10	0,90

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

FUEGO - ESTRUCTURAS DE MADERA

Comportamiento al fuego de la madera

La madera y sus productos derivados están formados principalmente por celulosa y lignina, los cuales se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos componentes la hacen combustible. Sin embargo la madera maciza no arde rápidamente y son realmente pocos los casos en los que en un incendio haya sido el primer material en arder.

Sin la presencia de llama, la madera necesita una temperatura en la superficie superior a 400 °C para comenzar a arder en un plazo de tiempo medio o corto. Incluso con la presencia de llama se necesita una temperatura en la superficie de unos 300 °C durante un cierto tiempo antes de que se produzca la ignición. A pesar de que la madera sea un material inflamable a temperaturas relativamente bajas, en relación con las que se producen en un incendio, es más seguro de lo que la gente cree por las siguientes razones:

- su baja conductividad térmica hace que la temperatura disminuya hacia el interior
- la carbonización superficial que se produce impide por una parte la salida de gases y por otra la penetración del calor, por lo que frena el avance de la combustión.
- y al ser despreciable su dilatación térmica no origina esfuerzos en la estructura ni empujes en los muros.

La madera es un material con gran capacidad de aislamiento térmico lo que supone una importante ventaja en caso de incendio. El coeficiente de conductividad térmica de la coníferas (pino y abetos) en la dirección perpendicular varía aproximadamente de 0,09 a 0,12 kcal/mh°C (en las maderas muy ligeras se sitúa en 0,005 y en las pesadas puede

llegar a 0,30). En el caso de los tableros de partículas, y dependiendo del espesor, puede variar de 0,08 a 0,15; y en los de fibras de densidad media de 0,06 a 0,72.

La capa carbonizada es 6 veces más aislante que la propia madera. De esta forma el interior de la pieza se mantiene frío y con sus propiedades físicas y mecánicas inalteradas. La pérdida de capacidad portante de la estructura se debe a una simple reducción de la sección, más que a una pérdida de resistencia del material.

Resistencia al fuego - velocidad de carbonización:

La resistencia al fuego de un elemento constructivo se mide como el tiempo durante el que es capaz de seguir cumpliendo su función (resistencia, estanqueidad, aislamiento) en una situación de incendio. Para la madera en grandes escuadrías es fácil alcanzar tiempos elevados de resistencia y estabilidad al fuego

Existe una relación lineal entre la profundidad carbonizada y el tiempo transcurrido. Esta relación constante que se denomina velocidad de carbonización permite determinar cual es la sección residual después de un tiempo determinado. Para madera maciza de coníferas esta velocidad es de 0,67 mm/min y para madera de frondosas es de 0,54 mm/min.

El efecto del fuego sobre las aristas de la pieza produce un redondeo con un radio de curvatura que es función del tiempo (por ejemplo al cabo de 30 minutos el radio es de 20 mm). La consideración del redondeo de las esquinas de la sección complica el cálculo de las propiedades mecánicas de la sección residual. Para simplificar este proceso se define una velocidad de carbonización eficaz, con un valor ligeramente superior al real y que permite considerar la sección residual con las aristas vivas (como si no se produjera el redondeo). Esta velocidad eficaz es de 0,8 mm/min en coníferas y 0,5 a 0,7 en frondosas.

Comportamiento de las piezas estructurales

En situación de incendio la comprobación estructural se realiza considerando unas acciones más reducidas, dado el carácter excepcional del incendio, y una sección residual, obtenida al restar la profundidad carbonizada (más una cantidad fija a partir de los 20 minutos de 7 mm por efecto de la temperatura en el perímetro de la sección) a las dimensiones iniciales, en cada cara expuesta.

La resistencia de cálculo en situación de incendio es más elevada que en la situación normal. En secciones gruesas es fácil alcanzar tiempos superiores o iguales a 30 minutos. Sin embargo con anchuras inferiores a los 90 - 100 mm es difícil llegar a EF - 30 minutos.

Comportamiento de las uniones

Las uniones en las estructuras de madera constituyen un punto débil en caso de incendio. Las mayores profundidades de carbonización se darán en los ensambles de las piezas, bien porque existen juntas que facilitan la penetración o por que se emplean elementos metálicos que conducen el calor hacia el interior.

En general, de acuerdo con la norma UNE ENV 1995-1-2, la estabilidad al fuego de las uniones realizadas con elementos metálicos calculadas en situación normal, alcanzan un tiempo de 15 minutos. Para llegar a 30 o 60 minutos es necesario sobredimensionar la capacidad de carga de la unión e incluso proteger los elementos metálicos de la acción del fuego.