



MIGUEL ESTEBAN HERRERO Y FRANCISCO ARRIAGA MARTITEGUI

MADERA ASERRADA

PARA USO ESTRUCTURAL



INTRODUCCIÓN

Es frecuente en la construcción encontrar situaciones en las que la falta de conocimiento sobre un tema particular desencadena una serie de problemas que dificultan la ya complicada ejecución de un proyecto. Este problema, aunque no es exclusivo, resulta especialmente frecuente cuando se trata de prescribir madera para uso estructural, quizás agravado por la falta de formación en las escuelas técnicas (la única titulación que incluye esta materia en su plan de formación es la de Ingeniero de Montes), por la falta de documentación suficientemente fundada y, quizás, por la confusa y prolongada situación de la normativa actual en la que se ha terminado por anular la que ya iba a ser Norma Básica.

Por nuestra experiencia en este campo podemos decir que el origen de muchos de estos problemas se encuentra en el mismo proyecto, y más concretamente en el pliego de condiciones técnicas particulares. Hemos encontrado proyectos en los que se prescribe la madera en un marco confuso de ambigüedad, con contradicciones, lagunas o, incluso, prescribiendo auténticos imposibles. A estos problemas se añaden los propios de la fase de ejecución, de suministro del material, de condiciones de almacenamiento, de plazos, etc. con los que todos los que hemos trabajado a pie de obra nos hemos topado en tantas ocasiones.

Este artículo no pretende ser una crítica a ningún proyecto o proyectista, como tampoco pretende ridiculizar o caricaturizar las situaciones que se plantean en el ya dificultoso mundo de la construcción, aunque bien es cierto que nos hemos visto obligados a afrontar algunas de estas situaciones con no pocas dosis de humor. Lejos de malas intenciones pretendemos aclarar algunos conceptos básicos que pueden

y deben ayudar por una parte al proyectista a redactar un proyecto de estructuras de madera y, por otra, a la dirección de obra para su correcta interpretación.

En resumen, se trataría de aclarar algunas cuestiones básicas que aporten la coherencia necesaria al proyecto y a la ejecución, basándose en unos sencillos criterios relacionados con la elección de la especie de madera y sus denominaciones, las dimensiones más utilizadas por su disponibilidad en el mercado o por limitaciones técnicas o estéticas, las calidades y las propiedades resistentes, el contenido de humedad, los tratamientos preventivos contra agentes bióticos o contra el fuego, el diseño y cálculo de la estructura, y otros temas relacionados. La experiencia en este campo nos ha permitido recopilar información sobre las carencias más frecuentes, casi siempre relacionadas con alguno de estos aspectos y de fácil solución o evitables con un mínimo de criterios correctamente formados.

Por las particularidades propias, este artículo se centra en el caso de la madera aserrada, quizás más conflictivo que el de la madera laminada por la multitud de factores que intervienen.

ESPECIES DE MADERA UTILIZADAS EN ESTRUCTURAS

Lo primero que hay que tener en cuenta es que las denominaciones de las especies vegetales y, por tanto, de la madera pueden ser múltiples y variadas. A menudo la misma especie se describe con varios nombres vulgares y comerciales que, además, pueden servir para denominar varias especies. Como criterio fundamental se recomienda que la denominación de la madera vaya acompañada por alguna referencia a alguna norma aprobada o al nombre

botánico. Algunas de estas normas disponibles son la UNE 56.501:1994 "Nomenclatura de las principales maderas de coníferas españolas" y la UNE EN 56 504:1973 "Nomenclatura de las principales especies comerciales de maderas extranjeras".

En cuanto al criterio de elección de una especie se deben tener en cuenta, además del coste, las propiedades mecánicas o la estética, otros aspectos menos evidentes relacionados con la disponibilidad de las dimensiones necesarias en el mercado y la facilidad de suministro como madera clasificada para uso estructural, la durabilidad o la aptitud para los tratamientos protectores si son necesarios, u otros que puedan tener relevancia en alguna situación concreta.

Las especies nacionales más utilizadas son el pino silvestre (*Pinus sylvestris*), el pino laricio (*Pinus nigra* o *Pinus laricio*), el pino pinaster (*Pinus pinaster*), Pino radiata (*Pinus radiata*) y el castaño (*Castanea* sp.) o el roble (*Quercus robur* o *Quercus petraea*). De estas especies sólo las cuatro primeras están contempladas en la norma española de clasificación para uso estructural UNE 56544.

Otras especies procedentes de otros países del norte y centro de Europa son el pino silvestre (*Pinus sylvestris*), la picea, abeto rojo o falso abeto (*Picea abies*), de Francia el roble (*Quercus robur*), y de los Estados Unidos de América el pino amarillo del sur o southern yellow pine (esta denominación agrupa a unas cuantas especies de pino procedentes del sur de Estados Unidos), el pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) o el abeto douglas (denominación que agrupa a una mezcla de *pseudotsuga* y abeto) y la madera de SPF (Spruce-Pine-Fir, mezcla de varias especies de abeto, picea y pino).

Una de las confusiones más típicas entre estos nombres se produce entre el abeto (género *Abies*) y la picea

(género *Picea*). En términos botánicos se trata de géneros diferentes entre los que se encuentran algunas especies como el *Abies alba* (conocido vulgarmente como abeto, abeto blanco o abeto común), menos empleado en la construcción de estructuras, o la *Picea abies* (conocido vulgarmente como picea, abeto rojo o falso abeto) mucho más empleado en la construcción. En la mayoría de los casos, cuando se habla de madera de abeto suele corresponder a la picea (*Picea abies*). El término pinabete se puede referir tanto a la picea como al abeto, por lo que puede ser motivo de confusión. Cuando alguien no habla del pinoabeto normalmente se trata de un vulgarismo que se refiere a la picea o, también, es que no sabe muy bien de qué madera está hablando y prefiere ampararse en la ambigüedad.

Otra confusión típica tiene lugar entre las diferentes denominaciones del pino silvestre. A la especie *Pinus sylvestris*, una de las más utilizadas, se le aplican nombres comerciales que a veces intentan ser una denominación de origen por la supuesta calidad de esta madera en función de su procedencia. Así se puede oír hablar de pino soría, pino valsáin, pino suecia, pino nórdico, pino norte, pino flandes, pino albar, pino ruso, etc. Todos ellos pertenecen a la misma especie y la diferencia de precio sólo se justifica por el transporte o el valor añadido de una denominación o "marca" concreta. Denominarlo en función de una procedencia se puede convertir en un problema si se interpreta al pie de la letra, puesto que, entre otras cosas, no siempre existe suministro suficiente.

La denominación del pino amarillo del sur no queda ajena a estas confusiones. Como ya se ha dicho, bajo esta denominación se comercializa un grupo de especies de pino procedentes del sureste de Estados Unidos. En distintas zonas de España y atendiendo

a diferentes razones se han asignado nombres diferentes, dando así lugar al conocido pino melis, pino mobila y al inevitable pino tea.

Lo curioso, en medio de esta aparente confusión, es que muchos técnicos no saben de qué están hablando pero la denominación de la especie se afirma con rotundidad.

También es verdad que algunas publicaciones antiguas han contribuido o quizás han reflejado la ignorancia habitual sobre este tema. Por ejemplo, en algún libro dedicado a la carpintería de armar se dice que "la mejor madera de construcción es el roble" y se lo su durabilidad, dureza y su conservación bajo el agua y enterrada; sin embargo del pino sólo se comenta que "se destruye mucho más pronto". A continuación insiste en que el "roble quercus" (acompañando al nombre común la denominación botánica del género, en otro alarde de confusión), es el más conveniente para vigas. Finalmente, del haya dice que no debe emplearse en la carpintería de armar más que a falta de otra clase de madera (Barré 1899). Esta indefinición también se extiende a propiedades que parecen mágicas como cuando se afirma que "la madera, cuando se mantiene constantemente sumergida se endurece ..." o que "la madera de roble cuando se moja se echa a perder porque se quiebra ...".

Otro texto 22 años más tarde (Barberot 1921) cita 27 especies entre las que incluye 5 coníferas. Pero lo curioso es que se habla del haya como propia para la construcción mientras que no cita al roble, contrario al entusiasmo mostrado por Barré. El alerce se cita como una variedad del pino; debe referirse probablemente a la madera de pino amarillo del sur. En una publicación posterior (1946) el mismo Barberot incluye el roble y distingue varias especies dentro de la denominación Pino.

Los textos técnicos sobre madera son más precisos en cuanto existen normas a las que pueden referirse. Por ejemplo, un texto de origen alemán (Knöll 1953) cita de manera acertada las especies de pino, abeto y alerce como las más importantes en la construcción y hace constantes referencias a las normas DIN 1052 y DIN 4074, que tratan del cálculo y de la clasificación respectivamente.

Es posible que gran parte de estos errores se deban a una mala traducción de textos originales, por lo que una solución sencilla es tener siempre cerca una bibliografía adecuada y actualizada. No obstante, como ya se deducirá más adelante, en un proyecto puede no ser estrictamente necesario definir la especie si lo que sólo interesa

son las propiedades mecánicas.

DIMENSIONES

El tema de las dimensiones resulta bastante menos confuso que el de las denominaciones de las especies pero de vital importancia desde las primeras fases de proyecto.

Es conveniente al encarar el proyecto conocer un poco las dimensiones habituales en el mercado. En la mayoría de los casos resultará mucho más económico en dinero y tiempo diseñar con una gama de dimensiones conocidas y comerciales que recurrir a dimensiones que luego habrá que fabricar "en exclusiva" o que puede que no existan. Puede que alguien tenga una viga de 12 metros de largo con una sección de 300 x 400 mm o más, pero tendrá que ser un importador especializado de maderas probablemente tropicales, seguro que muy caras y escasas y, en ocasiones, sujetas a una explotación forestal que, cuando menos y con poca razón, pueden hacer levantar la voz a las sensibilidades ecologistas.

En definitiva, salirse de la gama de dimensiones comerciales es una dificultad que hay que sopesar desde las primeras fases del proyecto.

Para las especificaciones en madera estructural hablaremos generalmente de dimensiones nominales, que son las dimensiones que la pieza debe tener en el momento de la puesta en obra, después de los correspondientes mecanizados y referida a un contenido de humedad. Estas dimensiones están sujetas a unas tolerancias que se recogen en la norma UNE EN 336: 1995 "Madera estructural. Coníferas y Chopo. Dimensiones y tolerancias".

Las dimensiones más habituales en madera aserrada se sitúan en una gama relativamente amplia que alcanza secciones máximas de 150 x 300 mm, con largos máximos que oscilan entre 7 y 8 metros. Otras dimensiones mayores también se pueden encontrar, pero estos valores son un máximo orientativo por encima del cual se incrementa notablemente la dificultad de suministro y el precio. Las dimensiones más pequeñas estarán limitadas por su capacidad portante y por la dificultad para la resolución de algunos detalles constructivos pero, sobre todo, por la estabilidad al fuego.

También la procedencia determina en cierto modo las dimensiones. Así, entre los americanos (Estados Unidos y Canadá) son típicas las secciones nominales de 2 x 4 ó 2 x 6 pulgadas (equivalentes a 38 x 89 mm y 38 x 140 mm, respectivamente). En Europa se imponen por su gran cuota de mercado las dimensiones con las que

trabajan los países nórdicos, cuyo grueso característico es de 45 mm. En cada caso convendrá consultar con los suministradores las dimensiones disponibles.

Otra cuestión relacionada con las dimensiones, al margen de la disponibilidad, es la relacionada con el efecto que las grandes dimensiones pueden tener en la estabilidad dimensional de las piezas. Grandes escuadrías estarán sujetas a mayores mermas e hinchazones, además de que su secado será más dificultoso, por lo que será inevitable la aparición de fendas de secado con las que hay que contar desde el principio y por las que, a priori, no se justificaría el rechazo de una unidad de obra. La repercusión estructural de las fendas, dentro de un orden, es prácticamente nula. Tan sólo las fendas que atraviesan completamente la pieza se deben tener en cuenta, y estas aparecen en muy pocas ocasiones. En general se reduce su importancia al efecto estético o a la posibilidad de constituir una vía de entrada de agentes xilófagos cuando el tratamiento protector es sólo superficial. Capítulo aparte lo constituyen otro tipo de fendas como las producidas por acebolladura, heladura o por rayos.

CLASIFICACIÓN DE LA MADERA POR CALIDADES

La resistencia de la madera depende de la calidad de las piezas. Un gran avance en el que se está trabajando a nivel europeo es el de la clasificación visual para agrupar por calidades la madera de una determinada especie y procedencia. Cada combinación de especie y calidad ha sido sometida a una serie suficientemente grande de ensayos que permiten conocer las propiedades mecánicas con unos niveles de confianza suficientemente altos. De esta forma, cada vez que queramos conocer las propiedades estructurales de una determinada partida de madera, no será necesario recurrir a ensayos caros y lentos, además de que resultan muy poco representativos.

La clasificación visual está avalada por amplias series de ensayos e intensos estudios estadísticos en los que se basa la redacción de las normas de clasificación y la determinación de las propiedades mecánicas. El único factor de dispersión que no pueden contemplar estas normas es el de la procedencia, debido entre otras razones a las diferentes condiciones de crecimiento en las que se pueden desarrollar los bosques. Por ello cada país redacta sus propias normas para clasificar su madera. Así, una madera española deberá ser clasificada con la norma española de la misma forma que

una madera nórdica deberá ser clasificada con la norma nórdica. En este sentido, las normas más habituales para la clasificación visual de madera estructural son la UNE 56544 (España), INSTA 142 (Países nórdicos), DIN 4074 (Alemania), NF B 52001 (Francia) o BS 4978 (Reino Unido).

Para otros usos de la madera existen normas de clasificación basadas en criterios diferentes. Este es el caso de la clasificación estética o de carpintería para uso no estructural. Parece lógico pensar que la repercusión que puede tener un nudo en la madera no es la misma si se va a emplear para construir un mueble que si va a soportar la carga de un forjado. Cualquier intento de correlación entre ambas clasificaciones es una simple aproximación que no deja de estar expuesta a errores.

Una clasificación para uso no estructural muy extendida es la utilizada por los nórdicos, dando las calidades 'comocae' (I a IV), quintas (V) y sextas (VI) (o las calidades A, B, C y D según la versión actualizada). En primer lugar hay que aclarar respecto a esta norma que la calidad 'comocae' es la mejor de todas, y se denomina de esta forma porque la pieza se clasifica dejándola caer directamente al final de la cinta transportadora cuando ya se han retirado las calidades inferiores. Es muy extendido el rechazo de la calidad 'comocae' por interpretar que se refiere a algo así como a una madera rechazada.

Un caso un poco especial es el de la madera de roble, muy utilizada en el norte de España. La información disponible para clasificar el roble es muy escasa, siendo una de las pocas referencias la que cita la norma francesa NF B 52001 en uno de sus anexos informativos.

Otro aspecto a tener en cuenta respecto a las normas de clasificación es que la mayoría de ellas han sido redactadas conforme a los ensayos llevados a cabo sobre madera nueva, quedando ligeramente al margen su aplicación a las maderas que podemos encontrar en edificios antiguos en los que se pueden encontrar piezas de grandes escuadrías, superiores a las utilizadas en la actualidad, con un alto porcentaje de duramen y con abundantes fendas que hay que interpretar con ciertos matices al clasificarlas. En la actualidad se está trabajando en una línea de investigación para resolver esta laguna en la normativa con la que se encuentran los muchos técnicos relacionados con el amplio sector de la rehabilitación.

Para resumir, se debe tener clara la calidad estructural exigida a la madera en función de la especie a utilizar y de su procedencia. La



ESTE SELLO INDICA QUE ES MADERA DE SPF DE CALIDAD N°2, ESTÁ SECA AL 19% Y HA SIDO ASERRADA POR EL ASERRADERO N° 201 Y ESTÁ CONTROLADO POR LA ORGANIZACIÓN MLB.

CLASIFICACIÓN VISUAL DE LA MADERA CON USO ESTRUCTURAL EN CANADÁ.



LAS DIMENSIONES DE LAS ESCUADRÍAS SON VARIABLES CON LA PROCEDENCIA E INCLUSO CON EL ASERRADERO.



EL ENSAYO DE PROBETAS PEQUEÑAS Y LIBRES DE DEFECTOS PERMITE CONOCER EL MATERIAL PERO NO EL COMPORTAMIENTO DE LAS PIEZAS REALES. PROBETAS DE FLEXIÓN ROTAS, DE DIMENSIONES 2X2X24 XM.



EL ENSAYO DE PIEZAS DE TAMAÑO REAL Y CON DEFECTOS PERMITE CONOCER LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA SU EMPLEO ESTRUCTURAL. ROTURA POR UN NUDO EN UNA PIEZA DE GRAN ESCUADRÍA.

utilización de madera clasificada debería ser cada vez más extendida, hasta el punto de que para una estructura de madera se debería exigir una certificación de calidad como se exige para una vigueta de hormigón prefabricado. En la actualidad resulta cada vez más fácil seguir esta especificación porque cada vez se encuentra más implantado el sistema de calidades para uso estructural, sin embargo, creemos que está en manos de los prescriptores ir imponiéndolo cada vez más para que los aserradores se acostumbren a clasificar la madera aportando con ello a su producto un valor añadido que, en última instancia, tampoco repercute en un aumento relevante del coste.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

La principal utilidad de este sistema de calidades es que aporta una gran simplificación a la hora de conocer las propiedades estructurales de la madera. Una determinada calidad de una especie está suficientemente estudiada, conforme a una normativa, como para conocer las propiedades estructurales con una fiabilidad más que aceptable.

A nivel europeo se agrupan todas las combinaciones posibles de especie y calidad en una serie de Clases Resistentes de las que se conocen las propiedades mecánicas necesarias para el cálculo, las cuales vienen recogidas en la norma europea UNE EN 338.

En esta norma se agrupan las Clases Resistentes para maderas de coníferas y chopo, y para frondosas. La denominación de las distintas clases resistentes hace referencia por una parte al tipo de madera con una letra inicial: C (coníferas y chopo) y D (frondosas). Por otro lado se incorpora una cifra que hace referencia al valor característico (5º percentil) de la resistencia a flexión en N/mm². Por ejemplo, una clase resistente C18 se corresponde con una madera aserrada de conífera o chopo que tiene una resistencia característica a flexión de 18 N/mm².

En el caso de la madera aserrada de coníferas y chopo se definen las clases C14 a C40. Las clases C14 y C16 son las de menor calidad y agrupan a casi cualquier calidad de madera. Las clases C18 y C24 son las más frecuentes y las más adecuadas por su precio, mientras que las clases superiores hasta la C40 son muy difíciles de encontrar, tanto más en gruesas escuadrias.

Pongamos un ejemplo para comprenderlo mejor. Una madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) de procedencia española se clasificará en aserradero según la norma española UNE 56544, estableciendo dos

calidades para esta especie: ME-1 y ME-2, a las que asigna respectivamente las clases resistentes C24 y C18. Si un proyectista o prescriptor elige, por ejemplo, proyectar con una clase C18 encontrará en la norma UNE EN 338 las propiedades necesarias de resistencia, elasticidad y densidad para calcular la estructura. En el pliego de condiciones técnicas particulares le bastará con definir la madera en función de la especie -pino silvestre (*Pinus sylvestris*) - y de la calidad (ME-2, si es una madera española). Si se acepta otra especie, incluso de otra procedencia, bastaría con definir la clase resistente (C18) como se haría con un acero del que basta decir que es A42b. De esta forma, según su procedencia, se podría prescribir de alguna de las siguientes maneras:

-pino silvestre procedente de España, de calidad ME-2 según la norma UNE EN 56.544 (Clase Resistente C18)

-pino silvestre procedente de países nórdicos, de calidad T1 según la norma INSTA 142 (Clase Resistente C18)

-pino silvestre procedente de Alemania, de calidad S7 según la norma DIN 4074 (Clase Resistente C16)

Es muy frecuente encontrar pliegos de condiciones o memorias técnicas de proyectos en los que, por la tradicional copia de ejemplares anteriores se arraistran fallos tales como "la madera será de pino Valsain de calidad extra, carente de nudos y de fibra recta", extremo absolutamente imposible de cumplir en una madera estructural.

Otro caso a comentar es el del manual técnico de Uralita del año 1957, en el que se dice que "la clase de madera empleada varía de calidad según la longitud de las cerchas. Para pequeñas luces puede ser empleada, con buen resultado, el pino de Soria y, para luces de hasta 16 metros, el de Flandes, y cuando hay que salvar luces de 16 a 20 metros se suele emplear madera de óptima calidad, Melis o pino tea (Suecia)". Se da la circunstancia de que pino Soria y pino Flandes son el mismo pino silvestre que todos conocemos. El pino tea, suponiendo que se refiera al pino amarillo del sur, no proviene de Suecia. Pero, sobre todo, no dice nada de las especificaciones de calidad de la madera, salvo la inútil referencia a la "óptima calidad". Imaginemos que se especificara un hormigón con el mismo grado de definición y confusión, haciendo una única referencia a la dirección de la fábrica de donde procede.

Otra fuente inagotable de conflictos lo constituye el control para la recepción de la madera en obra. Muchas veces y con el fin de tranquilizar a la dirección facultativa o para gastar la

partida destinada al control de calidad se realizan ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas y físicas. Por desconocimiento y por comodidad se suelen ensayar probetas pequeñas y libres de defectos con resultados muy tranquilizadores, ya que las resistencias obtenidas son muy altas. Pero tampoco resulta raro encontrarse con resultados nada halagüeños, como es el caso de un arquitecto que rechaza la partida de madera al conocer que era clasificada según una norma UNE como madera "nerviosa". A nadie le gustaría que su casa estuviera construida con un material con tal carácter. En cualquier caso, ninguna de las propiedades ensayadas sobre probetas pequeñas y libres de defectos tienen que ver con el verdadero comportamiento del material en piezas de dimensiones estructurales.

También es frecuente que la dirección de obra, ante la duda, se plantee ensayar unas pocas piezas de la madera que se recibe o de la madera existente si se trata de una rehabilitación. Esto es mejor que ensayar probetas pequeñas y libres de defectos, pero normalmente el número de ensayos es pequeño y poco significativo dada la gran variabilidad que tiene la madera. Lo razonable (en coste, plazo y comodidad) sería hacer una clasificación de acuerdo con la norma correspondiente a especie y procedencia, sin necesidad de "romper" nada.

Desde la perspectiva de la recepción en obra del material habría fijarse en las fendas de secado como un aspecto a tener en cuenta por su conflictividad. Estas fendas, aunque a menudo son consideradas el terror de la recepción, apenas revisten importancia desde un punto de vista estructural y deben ser contempladas como parte natural de la madera, especialmente cuando se trata de piezas de gran escuadria. La tradicional búsqueda de soluciones mediante el relleno o emplastecido de las fendas se revela como una solución poco útil o innecesaria a efectos de resistencia y sólo eficaz para reducir el impacto estético negativo que producen o, en todo caso, para minorar el riesgo de entrada de agentes xilófagos o eliminar superficies expuestas en caso de incendio.

CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad en la madera cuando va a ser puesta en obra es uno de los parámetros de mayor relevancia y, al mismo tiempo, de los más fáciles de controlar.

El agua en la madera se encuentra en permanente intercambio con la atmósfera que la rodea. En un

ambiente seco la madera pierde agua cediéndosela al ambiente, mientras que una madera excesivamente seca tiende a captar humedad del aire. Como es razonable pensar, este intercambio depende tanto de la humedad contenida en la madera como de la humedad contenida en el aire (humedad relativa), así como de la temperatura como reguladora de los procesos y flujos de evaporación y adsorción. El resultado final es que la madera tiende a equilibrar su contenido de humedad con el ambiente, por lo que para cada situación de humedad relativa y temperatura se tiene un contenido de humedad en la madera al que se conoce como humedad de equilibrio higroscópico.

El contenido de humedad en la madera se expresa en tanto por ciento sobre su peso seco (el peso seco se obtiene por secado en estufa a 103 ±2°C de la madera hasta conseguir peso constante). Es decir, si una madera está a un 35 % de humedad es que el 35 por ciento de su peso seco es agua. En términos generales, un contenido de humedad inferior al 30 % quiere decir que los huecos interiores de la madera se encuentran vacíos y que todo el agua existente se encuentra impregnando las paredes celulares como si se tratara de una esponja o, mejor, de un papel mojado. Por encima del 30 % quiere decir que las paredes celulares están completamente impregnadas y además existe agua libre ocupando los espacios interiores. El valor del 30 %, conocido como Punto de Saturación de la Fibra (PSF), es prácticamente constante para todas las especies y tiene su importancia porque determina el punto por debajo del cual las variaciones del contenido de humedad tienen repercusión en las propiedades de la madera y en su estabilidad dimensional. Variaciones por encima del 30 % no tienen ninguna repercusión. La madera está formada básicamente por las fibras que constituyen las paredes celulares, por lo que la humedad afectará a sus propiedades en la medida en que afecte a las fibras, no tanto a los huecos interiores de la madera.

En resumen, la importancia del control del contenido de humedad en la madera estructural se debe a dos efectos principales. Por un lado afecta a las propiedades físicas y mecánicas de la madera y por otro a la estabilidad dimensional. Estos efectos son de consideración para contenidos de humedad inferiores al 30 %.

En lo que se refiere a las propiedades físicas y mecánicas, al margen de la variación del peso aparente (poco representativo en general), un contenido alto de humedad provoca una reducción de las propiedades resistentes y del módulo de

elasticidad, por lo que se vería reducida su capacidad de carga y se incrementan las deformaciones. Este efecto se debe tener en cuenta en el cálculo de la estructura mediante la aplicación de unos coeficientes correctores que se aplican en función de la situación a la que va a estar expuesta la estructura. Haciendo un resumen se podrían distinguir tres situaciones o clases de servicio: interior (clase de servicio 1), exterior bajo cubierta (clase de servicio 2) y exterior (clase de servicio 3).

En cuanto a la estabilidad dimensional conviene tener en cuenta que la variación de humedad produce un fenómeno de hinchazón y merma que puede dar lugar a desajustes en las uniones o a la aparición de fendas que, como ya se ha dicho, no suelen revestir importancia desde un punto de vista estructural. Por otro lado, también conviene tener en cuenta que no es tan grave un contenido de humedad un poco elevado mientras sea constante. La madera se mueve con las variaciones de humedad, por lo que se da la circunstancia de que en Santander, pongamos por caso, la humedad de equilibrio es del 15,6 % mientras que en Valladolid no pasa del 11,5 %. Sin embargo la oscilación en Santander, por estar cerca del mar, es muy pequeña (entre 14,4 y 16,7 %) mientras que en Valladolid es muy alta (entre 7,7 y 18,2 %). La consecuencia de estas diferencias es que en Valladolid, estando la madera más seca en términos de valor medio, sufre más variaciones de humedad y, por tanto, mayores hinchazones y mermas.

La principal recomendación en torno a este tema es que se coloque la madera con un contenido de humedad lo más cercano posible a la humedad de equilibrio que corresponda a las condiciones medias de humedad y temperatura a las que va a estar expuesta. Esta recomendación no suele ser fácil de seguir, ya que en el mercado no es fácil encontrar madera con un contenido de humedad aceptable, especialmente en escuadrías medias y grandes para las que el secado artificial supone un encarecimiento considerable. Como recomendación general no se debe colocar madera con humedad superior al 18 % o 20 %. En cualquier caso, el control de la humedad a la recepción se puede realizar de forma sencilla con un xilohigrómetro, que es un aparato de medición con precisión suficiente para estos rangos de humedad, que no supone un gasto excesivo y es fácil de manejar.

TRATAMIENTO PREVENTIVO

Según la normativa actual los tratamientos preventivos se prescriben

conforme al riesgo de ataques al que va a estar expuesta la madera. En la norma UNE EN 335-1 se establecen cinco clases de riesgo que cubren situaciones que van desde la Clase de Riesgo 1, equivalente a una situación poco o nada expuesta bajo cubierta, completamente protegido de la intemperie y no expuesto a la humedad, hasta el máximo riesgo de la Clase 5, en permanente contacto con agua salada. Para cada clase de riesgo se establecen las correspondientes exigencias para el tratamiento, especialmente el nivel de profundidad o penetración al que tiene que llegar el producto protector. Riesgos grandes exigen penetraciones grandes que se obtienen mediante tratamientos en autoclave, mientras que para riesgos pequeños puede no ser necesario el tratamiento o ser suficiente una imprimación superficial. En la tabla 1 se describen las clases de riesgo y el tipo de tratamiento de protección adecuado. La descripción del tipo de protección es un extracto del planteamiento que establece la normativa europea (Peraza et al. 1999).

Las exigencias del tratamiento dependerán también de la durabilidad natural de la madera, ya que hay maderas que por sí mismas son capaces de resistir los ataques bióticos, y de la capacidad (aptitud o permeabilidad) para ser tratadas. Por ejemplo, la madera de picea no es apta para ser tratada en profundidad, por lo que no podrá prescribirse para ser utilizada bajo situaciones de riesgo que exijan tratamientos en autoclave.

Los productos utilizables para proteger la madera son muy variados. Los hay que utilizan un disolvente orgánico y los hay que se disuelven en agua, junto a otros productos utilizados tradicionalmente como las creosotas, algunos aceites especiales, etc. La utilización de la creosota se limita a exteriores y con ciertas restricciones por su toxicidad y por el olor que desprende. El aceite de linaza y otros similares tienen utilidad como protectores superficiales frente a los agentes atmosféricos, pero no se tiene constancia de su eficacia en caso de ataques xilófagos. Los productos disueltos en agua utilizan sales hidrosolubles del tipo CCA (cobre, cromo, arsénico) o CGB (cobre, cromo, boro) y es típico el color verdoso residual que dejan en la madera. Los productos en disolvente orgánico no alteran la coloración natural de la madera. Cada tipo de producto y cada sistema de aplicación, en definitiva, tiene unas ventajas y unas indicaciones propias para cada uso o situación.

Entre los errores típicos se encuentra el de exigir un tratamiento protector excesivo para una clase de

CLASE DE RIESGO	TIPO DE PROTECCIÓN
1 bajo cubierta, completamente protegido de la intemperie y no expuesto a la humedad	no necesaria recomendable una protección superficial
2 bajo cubierta y completamente protegido de la intemperie, pero puede existir de forma ocasional una humedad ambiental elevada	es necesaria una protección superficial recomendable una protección media
3 descubierto pero no en contacto con el suelo	es necesaria una protección media recomendable una protección profunda
4 en contacto con el suelo o con agua dulce y expuesto a una humidificación permanente	es necesaria una protección profunda
5 permanentemente en contacto con el agua salada	es necesaria una protección profunda

Tabla 1

riesgo. Esto, evidentemente, encarece de forma innecesaria la obra y conlleva algunos problemas añadidos si entramos en consideraciones medioambientales. Está claro que un producto, para ser protector, tendrá necesariamente que ser tóxico, por lo menos para los organismos de los que tratamos de defender la madera, por lo que un exceso de producto puede suponer una contaminación inútil.

Es frecuente confiar a un tratamiento químico la protección de una madera cuando existen medios constructivos de evitar el riesgo y, por tanto, de hacer innecesario el tratamiento. Estas soluciones suelen ir encaminadas a evitar a toda costa la acumulación de agua en la madera, no tanto a que no se moje, que a veces es inevitable, sino a impedir que permanezca mojada mucho tiempo. Si por necesidad la madera se va a mojar tenemos que facilitar que luego se seque. Esto, evidentemente no siempre es posible, como en el caso de pilotes sumergidos, pero en la mayoría de los casos basta con alejar las piezas del contacto directo con el suelo, colocar vierteaguas

adecuados, aleros bien dimensionados, evitar superficies no ventiladas en el encuentro con los muros o en el interior de herrajes demasiado estancos, etc. En la mayoría de los casos se pueden encontrar y se deben buscar soluciones para reducir en lo posible la necesidad de un tratamiento.

Otro error típico es el de tratar con productos "excesivamente protectores". Este es el caso de los barnices, incluyendo el conocido "barniz de barco", para un tratamiento en exterior. Un barniz es un producto que da como resultado una capa hermética y más o menos rígida que recubre la madera. Si esta protección fuera realmente hermética tendríamos a la madera como en una bolsa de plástico, pero la realidad es que lo único que se consigue es dificultar la inevitable y necesaria "respiración" de la madera. Si no es porque la madera no está suficientemente seca cuando se barniza bastará un resquicio o el menor de los poros para que el intercambio con la atmósfera empiece a producir los ya descritos fenómenos de hinchazón y merma que terminarán por quebrar y

Herraje	Clase de servicio		
	1	2	3
Clavos, pasadores, tirafondos	ninguna	ninguna	Fe/Zn 25c*
Pernos	ninguna	Fe/Zn 12c	Fe/Zn 25c*
Grapas	Fe/Zn 12c	Fe/Zn 12c	acero inoxidable
Placas metálicas y chapas de acero con espesor hasta 3 mm	Fe/Zn 12c	Fe/Zn 12c	acero inoxidable
Chapas de acero entre 3 y 5 mm	ninguna	Fe/Zn 12c	Fe/Zn 25c*
Chapas de acero con espesor mayor de 5 mm	ninguna	ninguna	Fe/Zn 25c*

* En condiciones especialmente corrosivas debería adoptarse Fe/Zn 40, galvanizado en caliente o acero inoxidable.

Tabla 2

cuartear la capa de barniz. Al cabo de un año o dos tendremos de nuevo una madera no protegida y, además, afeada por un barniz que se desprende por capas. En estos casos se recomienda la utilización de productos tipo lasur, también llamados a poro abierto, que impregnan y protegen una capa superficial sin impedir el intercambio y la ventilación entre madera y atmósfera.

Un error similar es el de la aplicación de siliconas o productos parecidos para cerrar las entradas de agua en fendas, juntas o similares. La eficacia de estas soluciones se reduce al primer año desde su aplicación, puesto que con casi toda seguridad terminará por despegarse y convertirse, lejos de su intención inicial, en una auténtica trampa para el agua.

En cuanto al tratamiento protector, aunque no se refiera a la madera propiamente dicha, no hay que olvidar a los herrajes. El Eurocódigo 5 propone unas medidas de protección en función de la clase de servicio a la que van a estar expuestos. Un resumen de estas prescripciones se encuentra en la Tabla 2.

TRATAMIENTO CONTRA EL FUEGO

El tema del fuego en las estructuras de madera, sin ser el menos importante, no es ni mucho menos tan grave como pretenden hacernos creer. Es cierto que la madera arde, mucho más que el hormigón o el acero, pero conociendo el comportamiento de la madera ante el fuego veremos que como elemento estructural es mucho más eficaz que otros materiales.

La madera reacciona activamente frente al fuego y, por eso, es clasificada en la norma UNE 23727 como M3 ó M4 (combustible y mediana o fácilmente inflamable). Este concepto es el que se conoce como reacción al fuego.

Por otra parte, en términos de una estructura, lo que nos interesa en situación de incendio es conocer si sigue siendo capaz de cumplir su función. El tiempo durante el cual la estructura sigue cumpliendo su función a pesar del incendio es el que se conoce como estabilidad al fuego.

Teniendo claros los conceptos de reacción al fuego y estabilidad al fuego, veamos por partes algunas de las ventajas que presenta la madera estructural en situación de incendio.

En primer lugar, la madera arde pero arde despacio, por lo que puede estar ardiendo durante cierto tiempo sin terminar de destruirse. Esta ventaja es de vital importancia -y nunca mejor dicho- porque en situación de incendio, una vez declarado, lo más importante es disponer de un tiempo de evacuación

suficiente para salvar la vida de las personas y permitir la intervención de los medios de extinción. La madera viene a consumirse a razón de unos 10 mm por cada 15 minutos de incendio, por lo que en media hora se habrán consumido unos 20 mm de madera por cada cara expuesta. Una solución grosera a esta situación, como hacen algunos proyectistas para atajar el supuesto problema por la vía rápida, es aumentar las escuadrias de las piezas en unos centímetros. Sin embargo esta medida no siempre es necesaria, ya que según el método de cálculo de la norma UNE ENV 1995-1-2, en situación de incendio los coeficientes de seguridad del material y de las acciones disminuyen, por lo que en la práctica se trabaja con valores de resistencia casi el doble que en situación normal y con cargas del orden del 60 % de las normales. Esto es equivalente a que la probabilidad de fallo de la estructura en situación de incendio, una vez alcanzado el tiempo necesario de estabilidad al fuego, es del 50 % (la estructura habría cumplido su función con seguridad y se admitiría el colapso del 50 % de las piezas).

Esta situación de mejora en el cálculo a menudo compensa la disminución de sección, por lo que puede no ser necesaria ninguna medida extraordinaria. Por tanto, la mejor protección de la madera es la propia madera, al contrario de lo que sucede con otros materiales como el acero que, en pocos minutos, llegarían al colapso si no estuvieran protegidos.

A pesar de todo, siempre es conveniente saber que escuadrias pequeñas difícilmente alcanzarán grandes estabilidades al fuego. En términos generales, escuadrias inferiores a 90 mm difícilmente alcanzarán una estabilidad al fuego de 30 minutos.

No obstante, en algunas ocasiones puede ser necesario o conveniente ampliar la estabilidad al fuego, para lo que existen distintos sistemas. Los tratamientos ignífugos mediante la aplicación de un producto químico son una solución. En España no existen en este momento empresas que apliquen este tratamiento impregnando la madera en profundidad, para lo que se requeriría un autoclave, por lo que se trataría de tratamientos superficiales que pueden llegar a aportar unos 15 minutos de mejora en la estabilidad al fuego, aunque su misión principal es la mejora de la reacción al fuego. Estos tratamientos, por otra parte, tienen una durabilidad limitada, por lo que deben reponerse cada 5 a 10 años aproximadamente, y tienen cierta tendencia a blanquearse y alterar el color natural de la madera. Al igual que en otros tipos de estructuras siempre es posible el

recubrimiento con materiales que no dejen superficies de madera expuestas.

CÁLCULO

Parece absurdo tener que insistir en este aspecto, pero a menudo una estructura de madera no es calculada o, en todo caso es calculada a ojo "con mis propios coeficientes de seguridad", como se a ha oído decir a algún proyectista. En muchos casos simplemente se delega en el carpintero, lo cual, sin menoscabar para nada su labor, es algo así como si el médico delega en el enfermero a la hora de establecer un diagnóstico. A menudo los carpinteros, basados en su experiencia y en su saber hacer, se ven obligados a tomar decisiones para salvar lagunas o imprecisiones en el proyecto y también hay que reconocer que suelen decidir a veces con criterio acertado.

Hay que reconocer que la situación de la normativa actual no contribuye a tomarse este tema con suficiente seriedad, pero aún así existen métodos de cálculo -el más actual y utilizado, el Eurocódigo 5- que a veces no se usa por desconocimiento o, porqué no decirlo, por pereza.

El cálculo de una estructura de madera es una fase de proyecto que no se puede decir que sea única. Se establece un proceso iterativo en el que el diseño estructural es previo al cálculo, pero al que a menudo hay que volver para optimizar la estructura o terminar de resolver problemas que sólo se descubren después de "hacer algunos números".

Muchas de estas dificultades de última hora tienen que ver con la resolución de los detalles constructivos y, en especial, con las uniones. Con frecuencia se olvida este tema o se deja para el final, obligando a buscar soluciones rápidas que poco tienen que ver con la filosofía general del proyecto o que invalidan toda la fase anterior de cálculo.

DISEÑO

El diseño estructural se puede convertir en la mejor herramienta para prevenir y solucionar muchos problemas. La primera y principal premisa, aunque parezca evidente, es tener en cuenta que se está diseñando con madera, y que la madera es un material que -como todos- tiene sus particularidades. En algunos artículos de esta misma serie se vienen a recordar algunos aspectos generales del diseño estructural con madera.

Una idea equivocada y recurrente es que una estructura metálica se puede reconvertir a madera, con sólo calcular las escuadrias. Hay que tener en cuenta que las estructuras de madera casi siempre son isostáticas y que las uniones requieren un estudio

detallado que se aleja de las sencillas soluciones soldadas.

Invertir un poco más de tiempo en el diseño de la estructura tiene otras ventajas. Soluciones relativamente sencillas pueden abaratar sensiblemente la fabricación, con una eficacia a veces muy superior a otros sistemas que sólo aportan sofisticación. Aunque siempre se puede mejorar, en el fondo queda poco por inventar: se lleva trabajando la madera cientos de años. Soluciones acertadas permiten aumentar la durabilidad de la estructura (nada más sencillo como elevar ligeramente los apoyos de los pilares para evitar el contacto directo con el suelo), con un ahorro importante de medios de protección que de otra forma serían necesarios.

GUÍA PARA LA REDACCIÓN DE UN PLIEGO DE CONDICIONES

Como resumen y como herramienta para la aplicación práctica de todo lo explicado hasta ahora, en este punto se incluyen las pautas principales para la redacción de un pliego de condiciones que recoja las especificaciones necesarias para la madera aserrada estructural. Debería incluir los conceptos que se describen a continuación, de los cuales se incluye al final un ejemplo:

Especie

La especie debe ir definida por alguna de sus denominaciones oficiales, ya sea el nombre botánico o por el nombre normalizado conforme a alguna de las normas citadas. Las especies españolas más habituales son el pino silvestre, el pino laricio, el pino pinaster y el pino radiata; en menor medida el roble o el castaño. Otras especies procedentes de otros países pueden ser el roble, el pino silvestre, la picea, el pino amarillo del sur, el pino oregón y el SPF.

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas exigidas a la madera deben ir especificadas mediante la denominación de la especie y su calidad, haciendo referencia a la norma de clasificación correspondiente al país de procedencia. También se puede especificar directamente mediante la especificación de una clase resistente, en cuyo caso no es necesario aludir a la especie. Las clases resistentes más habituales en el mercado van desde la C16 a la C24.

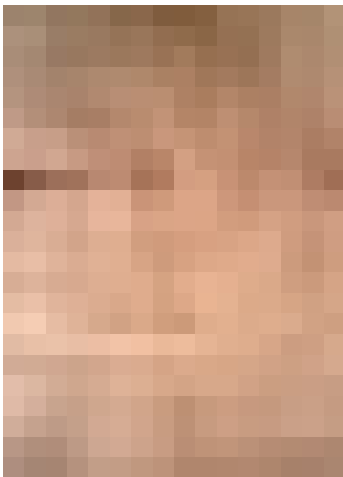
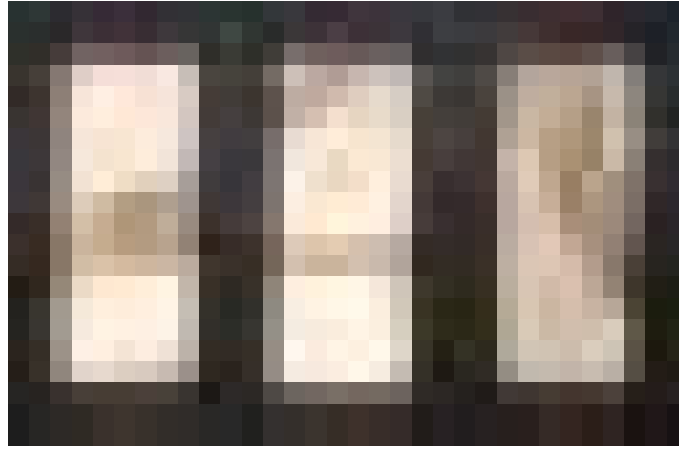
Cálculo

Como es lógico, el cálculo de la estructura debe hacerse partiendo de las propiedades mecánicas definidas para la madera. La norma aplicable en España,



LA MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PIEZAS EN OBRA ES SENCILLA CON EL XILOHIGRÓMETRO. PARA MEDIDAS ENTRE EL 7 Y EL 28 % LA PRECISIÓN ES DEL ORDEN DE ± 1 %.

LOS NUDOS CONSTITUYEN EL DEFECTO DE MAYOR RELEVANCIA EN LA RESISTENCIA DE LAS PIEZAS DE MADERA. TRES SECCIONES CON DIFERENTES ÁREAS OCUPADAS POR LOS NUDOS.



LAS FENDAS EN SECCIONES DE GRAN ESCUADRÍA SON INEVITABLES Y SE DEBEN A LAS DIFERENCIAS DE MERMA EN LA DIRECCIÓN RADIAL Y TANGENCIAL.



PÉRGOLA DE MADERA ES UNA SITUACIÓN CORRESPONDIENTE A LA CLASE DE RIESGO 3: MADERA EXPUESTA A LA INTEMPERIE PERO NO EN CONTACTO CON EL SUELO.

ESTA ESTRUCTURA PUEDE CONSIDERARSE EN CLASE DE RIESGO 2 YA QUE SE ENCUENTRA PROTEGIDA POR LA CUBIERTA Y SU ALERO.

LA RESOLUCIÓN ADECUADA DE LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS GARANTIZA LA DURABILIDAD DE LA PIEZA. APOYO DE UN PILAR A TRAVÉS DE UN ELEMENTO METÁLICO QUE LO SEPARA DEL SUELO DEJANDO LA PLACA DE APOYO RETRANQUEADA PARA EVITAR QUE SE DEPOSITE EL AGUA QUE ESCURRE POR LA SUPERFICIE DE LA PIEZA.



POSTES DE MADERA PARA EL ATRAQUE DE EMBARCACIONES EN AGUA MARINA, EN UNA CLASE DE RIESGO 5.



aunque no es de obligado cumplimiento, es el Eurocódigo 5. Según esta norma se comprueba la estructura por Estados Límites Últimos y Estados Límites de Servicio. También permite comprobar la estabilidad al fuego. Un aspecto fundamental del cálculo que no se debe dejar para el final es la comprobación de las uniones.

Dimensiones

Del resultado de cálculo se deducen las dimensiones nominales necesarias de las piezas y elementos de conexión. Existen unas tolerancias para estas dimensiones que también están normalizadas. Si es posible, deberían ajustarse a una gama de dimensiones comerciales.

Humedad

Como norma general se debe especificar un contenido de humedad en la madera no superior al 18 % y, si es posible, lo más cercana posible a la humedad media de equilibrio higroscópico correspondiente a la ubicación de la obra. El control de la humedad debe hacerse a la recepción.

Tratamiento preventivo

Cuando sea necesario, en función de las clases de riesgo, se prescribe un tratamiento protector mediante la aplicación de un producto químico con propiedades fungicidas e insecticidas de eficacia suficientemente contrastada. El tipo de producto a emplear dependerá de la ubicación de la estructura, siendo más adecuados los lasures cuando se colocan en exterior. El nivel de protección requerido depende fundamentalmente de la clase de riesgo a la que estará expuesta, de manera que a mayor riesgo mayor profundidad debe alcanzar el producto. En este apartado se debe incluir, junto a la clase de riesgo a la que está expuesta la estructura, el nivel de protección requerido conforme a la norma. De la misma manera se

debe especificar el nivel de protección de los elementos metálicos de unión si los hubiera.

Estabilidad al fuego

Mediante cálculo debe justificarse la estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Si es necesario una mejora de la reacción al fuego (que además aumenta ligeramente la estabilidad al fuego) se pueden prescribir productos ignifugantes que, en la mayoría de los casos, se aplican superficialmente. Las propiedades y garantías de los productos deben ser aportadas por el fabricante.

Herrajes

Aunque no se refiere a la madera como tal, conviene definir los aspectos fundamentales de los herrajes, tales como el material y el grado de protección necesario.

EJEMPLO

Para finalizar, se incluye un ejemplo sencillo de aplicación de las líneas que de forma general se desarrollan en este artículo. Se trata del pliego de condiciones sobre la madera estructural para el proyecto de una pasarela de madera expuesta al exterior; incluso los pilares se encuentran empotrados en el suelo mediante un pilotaje y pueden llegar a estar inundados por agua dulce hasta una cierta altura. Toda la pasarela se plantea con madera aserrada y no dispone de cubierta. El pliego de condiciones, en el capítulo correspondiente a la madera estructural, podría ser del tipo:

Madera estructural:

Especie: la especie de madera que se ha de emplear para la estructura será pino silvestre (*Pinus sylvestris*).

Propiedades mecánicas: se empleará una calidad de pino silvestre ME-2 o superior, según la norma UNE 56544 "Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural", lo cual equivale a una clase resistente C18. Las propiedades mecánicas de esta clase resistente figuran en la norma EN 338 "Madera estructural. Clases resistentes" (se pueden incluir en los anexos un resumen de dicha norma que recoja los valores de resistencia, rigidez y densidad para la clase C18, o las especificaciones de calidad para la clasificación conforme a la norma UNE 56544). Si por alguna razón ajena a este proyecto se plantea la utilización de una especie diferente se deberá justificar que sus propiedades mecánicas no son inferiores a las de la clase C18.

Cálculo: el cálculo de la estructura ha sido realizado conforme al método descrito en la norma UNE EN 1995 -1-1 Eurocódigo 5 "Proyecto de Estructuras de Madera". La clase de servicio adoptada es la 3, correspondiente a una situación de exterior y en contacto con el suelo. Las acciones consideradas en el cálculo son las correspondientes al uso, viento y efecto de la inundación conforme a la normativa vigente (el desarrollo detallado de cálculo puede ir incluido en un anexo).

Dimensiones de las piezas: las secciones de las piezas vienen expresadas en dimensiones nominales, con las tolerancias correspondientes conforme a la norma UNE-EN 336 "Madera estructural. Coníferas y chopo. Dimensiones y tolerancias". La relación de todas las piezas y sus dimensiones pueden consultarse en el anexo de resultados de cálculo y en los planos. Cualquier modificación de las secciones propuestas debe ser justificada por cálculo.

Humedad: el contenido de humedad de la madera en el momento de la

recepción no será superior al 18 %.

Protección: la madera que forma los pilares empotrados en el suelo estará expuesta a una clase de riesgo 4, por lo que es necesario un tratamiento mediante la aplicación en profundidad de un producto químico con propiedades fungicidas e insecticidas de eficacia reconocida. El resto de la madera que forma la estructura aérea se encuentra bajo una clase de riesgo 3, por lo que es recomendable un tratamiento en profundidad. Como consecuencia, para toda la madera el tratamiento se hará en autoclave y deberá quedar impregnada la totalidad de la sección impregnable (albura) en la dosis que el fabricante del producto especifique. La empresa responsable del tratamiento debe aportar la documentación relativa al producto y a su eficacia, así como alguna garantía correspondiente al tratamiento llevado a cabo.

Estabilidad al fuego: por la ubicación de la estructura no es necesario el estudio de la estabilidad al fuego.

Herrajes: todos los elementos metálicos que acompañan a la estructura (herrajes, clavos, pernos, etc.), por encontrarse en una clase de servicio 3, deben ir protegidos con al menos un galvanizado en caliente. Para clavos, tirafondos y pernos esta protección será del tipo Fe/Zn 25c. Las placas metálicas de hasta 3 mm de espesor serán de acero inoxidable. Las placas metálicas con espesor superior a 3 mm llevarán una protección del tipo Fe/Zn 25c.

Otras consideraciones: el acabado de la madera debe ser simplemente cepillado, evitando que queden partes sin cepillar expuestas al contacto con las personas. Pueden incluirse otras consideraciones que exija la filosofía del proyecto pueden incluirse en este apartado: acabado, coloración, restricciones de uso, etc.

BIBLIOGRAFÍA

Barberot, E (1921)

Tratado práctico de edificación. Editorial Gustavo Gili. 829 págs.

Barberot, E (1946)

Tratado práctico de carpintería. Editorial Gustavo Gili. 832 págs.

Barré, L.A. (1899)

Carpintería de armar. Pequeña enciclopedia básica de construcción, nº 4. Librería Editorial de Bailly - Bailliere e hijos. 158 págs.

Fernández-Goffín, J.I. y Álvarez H. (1998)

Manual de secado de maderas. AITIM

Knöll, F. (1953)

Construcción en madera. Editorial Labor, S.A. Argentina. 272 págs.

Peraza, F., Arriaga, F., Bobadilla, I. y

García, F. (1999)

La elección del tratamiento de la madera y su control de calidad AITIM, boletín nº 201. Págs. 61-67.

Uralita (1957)

Manual general. Editorial Dossat. 1019 págs.

NORMAS CITADAS Y OTRAS DE CONSULTA

(En cada una de estas normas se pueden encontrar referencias a otras normas relacionadas que pueden resultar interesantes).

UNE 56501. Nomenclatura de las principales maderas de coníferas españolas.

UNE 56502. Nomenclatura de las principales maderas de frondosas

españolas o aclimatadas en España.

UNE 56504. Nomenclatura de las principales maderas comerciales extranjeras de coníferas.

UNE-EN 336. Madera estructural. Coníferas y chopo. Dimensiones y tolerancias.

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

UNE-ENV 1995-1-2. Eurocódigo 5: proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego.

UNE 56544. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural.

UNE-EN 1912. Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de especies y calidad visuales.

UNE-EN 338. Madera estructural. Clases

resistentes.

UNE 56414. Protección de maderas.

Clasificación de los protectores biocidas, atendiendo a su naturaleza.

UNE-EN 335-1. Durabilidad de la madera y de sus materiales derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 1: generalidades.

INSTA 142 (1994). Nordiske regler for visuelt styrkesortering av trelast (Nordic visual strength grading rules for timber). DIN 4074 Teil 1 (1989). Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit.

NF B 52-001 (1998). Règles d'utilisation du bois dans les constructions.

Classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues.

BS 4978 (1996) Softwood grades for structural use