

Puentes de madera



Francisco Santos

Ingeniero Industrial

Media Madera Ingenieros Consultores S.L.

Julio Vivas

I.C.C.P

Media Madera Ingenieros Consultores S.L.

La madera como elemento de construcción

Se estima que existen en el mundo alrededor de 16.000 especies de madera diferentes, de las cuales sólo tienen carácter comercial unas 2.000. de este número 500 corresponden a coníferas (abetos, pinos, cedros, etc.) Y 1.500 a frondosas (roble, haya, olmo, encina, etc...). En España se comercializan alrededor de 150 especies procedentes de todo el mundo, de las cuales 100 son frondosas y 50 coníferas.

Históricamente la madera es probablemente la única materia prima renovable que se utiliza a gran escala y en la que su aprovechamiento no daña el medio ambiente. En realidad, la madera no puede circunscribirse a un periodo más o menos largo de la Humanidad, ya que es un material que de forma permanente y continua ha estado presente a lo largo de toda la historia de la civilización. En los países fríos y de abundantes bosques, la madera constituía la totalidad de la estructura y, en los países con menor cantidad de madera, la horizontal y de cubierta.

Hay que reconocer que ha habido cierta reticencia a utilizar la madera estructural como elemento sustitutivo

del acero y del hormigón, y ésta se ha debido en gran medida a tres condicionantes históricos como son sus limitaciones físicas, la durabilidad de las estructuras de madera y su comportamiento a fuego.

¿Por qué madera?

A principios del siglo XX, concretamente durante la II Guerra Mundial y debido a las restricciones que existían para el acero, se producen "mejoras tecnológicas" como fue la aparición de la madera laminada encolada lo que supuso un salto cualitativo y venció definitivamente las reticencias existentes hacia el uso estructural de este material; esto unido a otras mejoras como el desarrollo de su tecnología de secado, técnicas de tratamiento y de transformación permite garantizar el éxito de su utilización.

Del mismo modo, la mayor preocupación y sensibilización medioambiental y cuidadosas políticas de cultivo de bosques provocan que mayores consumos de madera impliquen de forma directa el aumento de la superficie forestal además de suponer un efecto "localizador" y "fijador" para el empleo.

Las ventajas que presenta la madera como elemento estructural son múltiples:

- Elaboración bajo condiciones sostenibles para el medio ambiente.
- Elaboración y transformación con un consumo de energía despreciable frente a otros materiales como el acero o el aluminio:
 - o Una tonelada de madera 430 Kwh
 - o Una tonelada de acero 2.700 Kwh
 - o Una tonelada de aluminio 17.000 Kwh
- Alta resistividad térmica junto a una inercia térmica muy apreciable.
- Gran aislamiento acústico.
- Reciclabilidad y ahorro de materia prima. Una vez finalizado su ciclo de vida, la madera se recicla o se revaloriza como abono o energía calorífica, sin contaminar el medio ambiente.
- Relación peso-resistencia mucho más favorable que en el acero o el hormigón

Respecto al comportamiento a fuego, las estructuras de madera tratada presentan un mejor comportamiento que las de acero en E.L.S. debido a las siguientes razones:

- La baja conductividad térmica hace que la temperatura exterior no llegue rápidamente al interior.
- La carbonización superficial retrasa el efecto de la combustión.
- La dilatación térmica es despreciable.

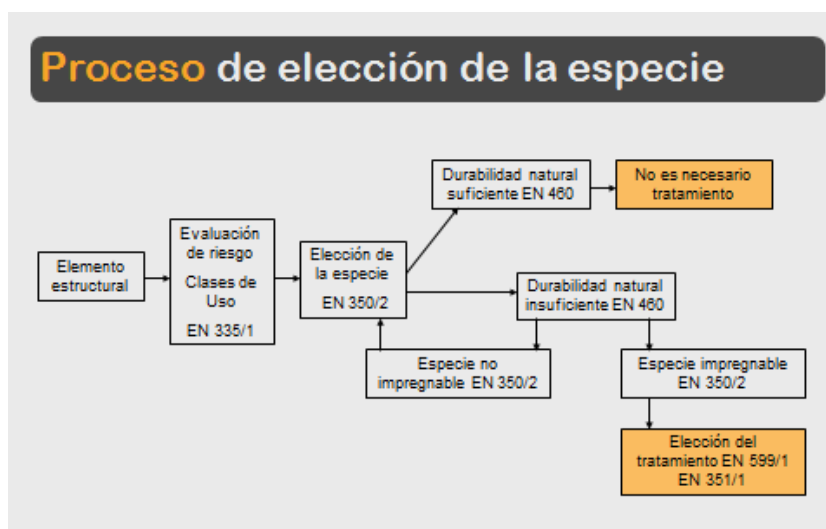
¿Qué madera utilizamos en los puentes?

La protección de los materiales de construcción frente a la agresión del medio (tratamiento contra la corrosión del acero, anodizado del aluminio, recubrimientos mínimos en el hormigón armado, etc.), son procedimientos asumidos por la práctica. Sería por tanto injusto pretender utilizar la madera sin ninguna protección, si las condiciones de utilización lo requieren.

Hemos detectado que tenemos tan interiorizado el uso del hormigón y del acero en la construcción, que si por ejemplo un puente de estos materiales falla es por culpa del proyecto, del montaje o un motivo externo pero en el caso de que falle un puente de madera.... lo primero que hacemos es culpar al material y eso no es justo por eso el primer paso, es elegir qué tipo de madera debemos utilizar.

Así, para empezar, el principal fallo (aunque no se pueda achacar directamente al diseño que también) que nos encontramos en estructuras de madera y especialmente en puentes y pasarelas está relacionado con una inadecuada elección de la especie. La elección de la especie de madera es clave, y en caso de no contar con una especie con una durabilidad natural suficiente para nuestra clase de riesgo debemos asegurarnos de que se trata de una especie IMPREGNABLE, sobre la que poder aplicar el tratamiento químico necesario.

De este modo, cuando vamos a proyectar una estructura en madera debemos preguntarnos a que “clase de riesgo” (denominado “clase de uso” según la norma) va a estar sometida esa construcción para tomar las decisiones adecuadas; en el caso que nos ocupa un puente por definición debemos calificarlo como un elemento de



construcción ubicado al exterior y por tanto sometido a las inclemencias climatológicas.

Así, o la madera tiene una buena durabilidad natural (como la que presentan las maderas tropicales) o deben permitir el tratamiento que mejore su durabilidad, sin que éste acentúe otras consecuencias colaterales o permita manifestarse efectos secundarios no deseados.

Aquí cada proyectista debe asumir el compromiso de que madera elige y asumir sus consecuencias de modo que en base a nuestro conocimiento y experiencia, hoy día y por la ponderación de una serie de factores la elección más adecuada es el PINO SILVESTRE tratado para clase de uso IV antes de laminar. Por un conjunto de motivos técnicos que incluyen, entre otras, las siguientes:

- a) falta de durabilidad natural.
- b) incapacidad de tratamiento.
- c) problemática con el correcto secado.
- d) gran coeficiente de contracción (hinchado-contracción) que perjudica la estabilidad dimensional de la madera perjudicando el comportamiento de las uniones, del encolado y favoreciendo el aumento de delaminados, deformaciones y también el fendado (y, por tanto, también la penetración de agua líquida que perjudica la durabilidad), etc.

Quedan expresamente desaconsejadas cuando no prohibidas especies (o subespecies/variedades) tales como: Picea Abies (también conocida como Pícea, Abeto, Abeto Rojo, etc.), Pseudotsuga (comúnmente llamado también abeto Douglas, pino-abeto, pino Oregón, etc.), Pinus Radiata (también conocido como pino insigne, pino de Monterrey, pino de California, etc.), Pinus Pinaster (conocido también como Pino marítimo, pino resinero, pino negro, etc.)

Hay que reseñar, que algunas de las especies anteriormente mencionadas, SI permiten el tratamiento, pero sus características intrínsecas conllevan un comportamiento que afecta a la durabilidad y aspecto de la estructura disminuyendo la vida útil del puente y contribuyendo a esa leyenda negra de que la madera no es el material adecuado.

De este modo, si por ejemplo comparamos el Pino Silvestre con el Pino Radiata, y fijándonos ya sólo en un parámetro como pueden ser sus coeficientes de contracción volumétrica, el del Pino Radiata puede ser del doble que el Pino Silvestre de forma que a menor valor de contracción volumétrica mayor estabilidad dimensional y menor influencia de los procesos de intercambio de humedad por el ambiente en el volumen de forma que esta mejor

prestación en la estabilidad dimensional repercute en un mejor comportamiento de las uniones, los encolados, la aparición de fendas (grietas) y las deformaciones. Recordemos que la madera no dilata pero si hincha y merma en base al grado de humedad y esto favorece la penetración del agua a través de las fendas y esto repercute negativamente en la durabilidad porque favorece la pudrición (el 80% de todas las patologías en construcción tienen que ver de una u otra manera con.... el agua).

¿A qué luces podemos llegar?

Cuando hablamos de puentes de madera quizás la primera idea que nos venga a la cabeza sea algo pequeño como para el estanque o el jardín. Estamos acostumbrados a pensar que el material madera tiene sus limitaciones físicas

Pero ciertamente, conociendo las características del material y un diseño adecuado, podemos llegar a obras realmente espectaculares como nuestro gran puente de madera sobre el Guadalhorce de 270 metros de longitud total, en 5 grandes vanos, siendo el vano centra de casi 70 metros de luz libre entre apoyos.



EL PUENTE DE MADERA RÉCORD DE EUROPA: “MADE IN SPAIN”

Los ciudadanos de Málaga ya pueden disfrutar en el paraje natural de la desembocadura del río Guadalhorce de la pasarela multi-arco que fue diseñada para salvar el río andaluz y dar continuidad a la Senda Litoral que bordea la provincia y que se ha convertido rápidamente en un nuevo icono de la ciudad.

Se trata del puente de madera más grande de Europa, con 273 metros, y poseyendo también el récord de tener el vano de mayor luz libre de toda España para una estructura de este material, casi 70 metros. Esta impresionante infraestructura se convierte, por tanto, en el principal hito de la ingeniería estructural con madera.



Motivación del proyecto

La pasarela está ubicada en un paraje natural de alto valor ecológico. Este entorno natural determina tanto su diseño, basado en formas orgánicas, como el material elegido para su construcción: la madera. Hay que señalar, que la madera es un material natural, renovable y con la menor huella de carbono de todos los materiales de construcción.

El paraje natural de la desembocadura del río Guadalhorce es un espacio natural protegido al suroeste de la ciudad de Málaga, donde el río Guadalhorce se bifurca en dos brazos formando un delta aluvial en el que se encuentran unas pequeñas lagunas artificiales de extracción de áridos. Este extraordinario paisaje contiene una rica y variada fauna de aves, reptiles y anfibios.

El proyecto nace, en consecuencia, de la necesidad de encontrar un corredor peatonal y ciclista que permita a la

población malagueña atravesar este imponente paraje natural, tanto para desplazarse de un lugar a otro, como para disfrutar de sus vistas y naturaleza.

Elección de la ubicación

En una primera fase del estudio, dentro del Proyecto Básico, se propone la ubicación de la pasarela en una zona más cercana a la desembocadura del río. Finalmente, se decide trasladar el emplazamiento unos metros río arriba con el fin de ubicar lo más lejos posible la pasarela del paraje natural protegido, sin invadir la servidumbre de la carretera, aguas arriba.

El levantamiento topográfico realizado durante las primeras fases permitió la construcción de un modelo tridimensional del terreno sobre el cual colocar la pasarela con total precisión. Aquí fue importante concretar la localización de los sucesivos apoyos que la pasarela tendría, buscando minimizar el impacto en el medio natural.



Condicionantes técnicos

El análisis exacto del entorno requirió un estudio topográfico exhaustivo sobre el cual se establecería un control riguroso del terreno, accidentes, caminos existentes y, sobre todo, del lecho del río y la orilla del mismo. Algunos

de los condicionantes que más influyeron en la estructura fueron:

- Hidrológicos (Inundabilidad): El modelo tridimensional permitió simular la inundación del terreno desde el nivel habitual hasta el nivel máximo para un período de retorno de 500 años.
- Meteorológicos (Viento): La situación de la pasarela, en la cuenca del río Guadalhorce y en las proximidades de su desembocadura generó incertidumbre acerca de la acción del viento que inicialmente no se contemplaba como un factor fundamental. Pero es bien sabido que en puentes con grandes luces, reducido peso propio y altas flexibilidades, el estudio de la aerodinámica y la aeroelasticidad es de notable importancia.
- Ambiental (Salinidad): La proximidad del mar, especialmente después de comprobar que los vientos predominantes suelen seguir el lecho del río en ambas direcciones, hizo que fuese previsible un entorno salino, lo que aumentaba considerablemente el riesgo de corrosión en los componentes metálicos de la estructura.

Diseño estructural

Teniendo en cuenta los antecedentes constructivos existentes en cuanto a pasarelas de madera, la tipología en arco estructural constituyó la solución más inmediata y adecuada para las características resistentes del material a emplear, la madera laminada encolada (MLE), permitiendo un alto rango de luces económicamente efectivas entre 30 y 70 metros. Con lo cual, esto definió el número mínimo de apoyos necesarios.

Como ya se mencionó, la pasarela tiene una longitud total de 273 metros lineales y un ancho de paso útil de 3 metros. Está formada por siete tramos de configuración simétrica de luz creciente, siendo la luz del tramo central, el que salva la rama del río Guadalhorce de 69,66 metros, el mayor, seguido de 55 metros para los vanos contiguos, y de 31 metros y 15 metros respectivamente en los vanos sucesivos.

La estructura multi-arco funciona en conjunto, por lo que respetar la geometría de todos los elementos durante su construcción se convirtió en un hecho de vital importancia por el simple hecho de lograr el equilibrio estático de la pasarela.

La geometría inicial propuesta contemplaba el inicio de los arcos prácticamente a nivel del suelo. Después de



realizar el estudio hidrológico, se descubrió que durante el período de retorno de 500 años, una buena parte de la estructura permanecería sumergida. Por tanto, la superestructura debía quedar por encima de la línea de la lámina de agua para ese período de retorno (Q500), exactamente a 7,1 metros sobre el nivel del mar. Este cambio de la altura implicó una reducción de la curvatura de los arcos.

Prefabricación y eficiencia constructiva

Toda la pasarela ha sido prefabricada en taller, pudiendo tener un alto control de la calidad. Los módulos, que fueron transportados ya pre-ensamblados para su montaje en obra, han sido diseñados teniendo en cuenta las limitaciones de transporte, acceso y montaje en obra.

Esta ventaja constructiva logró facilitar las labores en obra, minimizando los problemas, y logrando la máxima reducción del impacto de la obra en el medio natural donde se ubica.



Material y durabilidad

La madera es uno de los materiales más eficientes estructuralmente. Su ratio resistencia/peso propio es 1,2 veces mayor que el del acero, y 5 veces mayor que el del hormigón.

Los elementos estructurales principales y secundarios se han resuelto con madera de *Pinus sylvestris* tratada en profundidad en autoclave con sales hidrosolubles para Clase de Uso 4 (requisito de durabilidad marcado por del Eurocódigo 5: Proyectos de estructuras de madera).

La vida útil de los puentes indica el tiempo durante el cual la madera tratada seguirá cumpliendo con sus funciones. No hay diferencia en durabilidad con respecto al hormigón o al acero, ya que este requisito es de obligado cumplimiento para este tipo de infraestructuras y viene marcado por la normativa general, en este caso la Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11) o por el Eurocódigo 0: Bases de cálculo de estructuras, independiente del material utilizado.

Integración medioambiental

La madera aporta un indudable valor estético, su apariencia y calidez no pueden ser imitadas por ningún otro material. Las formas orgánicas de la pasarela acentúan ese valor, integrándose perfectamente en la zona. La madera ofrece una alternativa verdaderamente sostenible al acero y al hormigón, que son materiales fantásticos, pero tienen un alto coste energético y una elevada huella de carbono (en promedio, 230 kilogramos de CO más por tonelada que la madera).

La madera es un material natural, renovable y directamente disponible en la naturaleza. De la misma manera que es previsible un cambio de combustibles fósiles a fuentes de energía renovables, el cambio de materiales de construcción basados en combustibles fósiles a materiales sostenibles también será inevitable en el futuro.

Mantenimiento

Las afecciones y deterioro de un puente durante su vida útil no se pueden evitar, pero un sistema de mantenimiento e inspección mediante revisiones anuales y una inspección más detallada cada cinco años, permite detectar posibles daños en un estadio donde la reparación resulte sencilla y económica.

Durante las inspecciones se deben tener en cuenta los aspectos específicos de la madera como el contenido de humedad, hinchazón de elementos, deterioro de la superficie, astillas, grietas, etc.

Si se ha realizado un diseño correcto y se cumplen las revisiones periódicas programadas, no será necesario más que un mantenimiento estándar de limpieza y repintado con lasur protector.



Otros grandes puentes de madera



Puente en Amorebieta sobre la A-8 . LUZ de 60M.



Puentes en el Duero. Puente en Peñafiel. Más de 100 m.



Puente en Cabezón de la Sal. LUZ de 60M.



Puentes en el Duero. Puente en Pesquera. Más de 100 m.



Puente en Velilla del Río Carrión. LUZ de 65M.



Puentes en Barbate 36 metros-