

UTILIZACIÓN DE LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE PASO

J. M^a IGLESIAS RODRÍGUEZ & F. J. BRADINERAS ESCÓ & A. FERNÁNDEZ SERRANO & M. BROTO CARTAGENA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROFORESTAL DE LA UNIVERSIDAD DE LLEIDA. AVDA. ROVIRA ROURE 177, 25198 LLEIDA

RESUMEN

Hasta el siglo pasado, la madera y la piedra fueron los materiales estructurales por excelencia.

La piedra, por sus características resistentes, se utilizaba para la construcción de arcos, que podían salvar grandes luces, transmitiendo las cargas a los apoyos generando esfuerzos de compresión en las secciones. Por su parte la madera, limitada en su longitud, utilizaba su capacidad resistente a flexión para soportar las cargas sobre elementos estructurales lineales.

En la presente comunicación se pretende destacar como la madera, tanto en rollo, como aserrada o laminada, puede ser plenamente competitiva, frente al acero o el hormigón, en la construcción de obras de paso, ya sean puentes para vehículos o pasarelas para peatones. Para ello se analizan las posibles causas de su declive y se proponen actuaciones concretas para su recuperación como material alternativo frente al hormigón y el acero, estableciendo las bases de diseño de puentes y pasarelas peatonales con diferentes tipologías de superestructura de madera.

SUMMARY

Stone and timber were the most used structural materials until last century.

Stone, due to its strength properties, was used in arches spanning great distances, where weights were transmitted to bents with only compression stresses.

Structural elements in timber were limited by its longitude, so its bending behaviour was useful in supporting weights as lineal elements.

The goal of this communication is showing that timber, log, sawn lumber or glulam, can be as suitable as steel or concrete in building bridges for vehicles or pedestrians.

Causes of actual little use of timber are analysed and possible solutions are proposed in order to become a real alternative to steel and concrete as structural material.

Finally, different typologies of bridges with timber superstructure are shown.

INTRODUCCIÓN

Probablemente, el primer puente que construyó un ser humano (o un prehomínido, incluso) fuera un tronco atravesado sobre un río. Desde ese primer momento, la madera, junto con la piedra, se han utilizado como materiales básicos en la construcción de puentes, materiales que fueron desplazados en el siglo XIX, en pleno desarrollo industrial, por el acero, y ya en el

presente siglo por el hormigón armado y pretensado, de mayor aceptación, como material de construcción, que el acero por su capacidad para ser moldeado y su similitud con la piedra natural. A pesar de tan serios competidores, en nuestro siglo se han seguido construyendo puentes de madera, de tal forma que solo en USA el 12 % de los puentes de luz superior a 6 metros están hechos de este material, y se siguen construyendo cada año.

Sin pretender discutir en ningún momento el legítimo orgullo de los responsables del desarrollo tecnológico que ha experimentado la humanidad, gracias a los ingenieros de finales del siglo pasado y del actual, que con materiales fabricados por el hombre, como el acero o el hormigón, han superado a los que ofrecía la naturaleza, como la madera y la piedra, entendemos que estos materiales siguen teniendo plena vigencia y no deben en algunos casos ser olvidados entre las alternativas posibles.

SITUACION ACTUAL DE LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

Hay diferentes razones que hacen que el ingeniero que diseña una obra de paso no considere la posibilidad de utilizar la madera como material estructural, pero todas ellas tienen un punto en común, el desconocimiento actual del comportamiento de este material de construcción.

La falta de caracterización mecánica de la madera y la escasa difusión de sus propiedades físicas y mecánicas, hace que persistan una serie de ideas equivocadas acerca de su comportamiento.

Así, todavía existen grandes reservas principalmente respecto a su durabilidad, su resistencia frente al fuego y a la variación de sus dimensiones, cuando en realidad estas cuestiones no sólo no representan ningún problema insalvable, sino que en algunos casos suponen una ventaja frente a otros materiales.

Por otra parte, las industrias del acero y del hormigón han invadido el mercado con productos normalizados, cuya resistencia viene garantizada por el fabricante y han facilitado enormemente el trabajo de los técnicos al ofrecerles una amplia información técnica que incluye incluso soluciones tipo de fácil utilización en casos generales.

ACTUACIONES DE CARÁCTER GENERAL

Si deseamos que la madera vuelva a utilizarse como material de construcción en aquellos caso en que su uso no debió de abandonarse, es necesario emprender algunas acciones, como son entre otras :

- Caracterizar y clasificar la madera, de cada una de las especies, que se pone en el mercado de acuerdo con la normativa europea
- Difundir ampliamente el conocimiento de sus propiedades entre los proyectistas, incluyendo el estudio de este material en las carreras técnicas
- Ofrecer información técnica apropiada a proyectistas y constructores
- Regular mediante la correspondiente normativa, el cálculo y construcción de estructuras de madera, trabajo que ya se está realizando con la redacción del Eurocódigo nº 5
- En los usos estructurales de la madera, como pueden ser las obras de paso, las cubiertas, y los forjados, entre otros, es muy conveniente ofrecer soluciones tipo que faciliten su implantación al igual que ocurre en otros materiales.

VENTAJAS DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE PASO

Una vez que se haya conseguido que la madera sea un producto normalizado y plenamente caracterizado, algunas de las ventajas que presenta frente a otros materiales en la construcción de obras de paso son:

- Buena relación resistencia-peso
- Debidamente tratada buena durabilidad
- Posibilidad de ejecución de la obra en cualquier condición climática
- Mejor comportamiento que los demás materiales frente a la acción prolongada del fuego
- Inmejorable integración en el paisaje en zonas donde el impacto visual de otros materiales pueda tener una incidencia negativa
- Bajo coste
- Sencillez de diseño, fabricación y puesta en obra
- La tecnología necesaria es sencilla, asequible y está presente en toda España
- Desde que se desarrolló la tecnología de la madera laminada, el problema de la limitación de la luz a cubrir, por el tamaño de la madera aserrada, desaparece

Fruto de estas ventajas hay una gran variedad de situaciones en las que las obras de paso de madera resultan ser la solución natural o en las que pueden ser competitivas frente a otras posibles soluciones. Entre otras se pueden citar:

- Puentes de pequeña y media luz
- Puentes en vías de baja y media intensidad de tráfico
- Puentes en vías agrícolas y forestales
- Puentes en vías que discurran por espacios naturales protegidos o de especial interés
- Pasarelas peatonales, ya sea en medio urbano (parques, jardines o zonas singulares) o en medio forestal (senderos, rutas turísticas, etc.)

ACTUACIONES PREVISTAS PARA LA IMPLANTACION DE OBRAS DE PASO DE MADERA

Al ser poco frecuente que se construyan puentes y pasarelas, tanto para el tráfico de vehículos como de peatones, con la superestructura de madera, su diseño responde necesariamente a un estudio individualizado que requiere tiempo y que en algunos casos hace desistir al proyectista frente a la utilización de otros materiales para los que se dispone incluso de soluciones tipo establecidas por organismos oficiales. Por tanto, para aumentar la competitividad de la madera, hace falta proporcionar, también con este material, soluciones de fácil utilización.

En aras a facilitar el uso de la madera con fines estructurales, los autores de la presente ponencia están trabajando en el desarrollo de un prontuario de pequeños puentes para vehículos y pasarelas peatonales, con solución integral en madera, tanto en rollo como aserrada y laminada, para determinadas condiciones de luz y anchura de calzada. El citado prontuario se complementa con un programa informático de diseño y cálculo de obras de paso, de características particulares definidas por el proyectista.

El trabajo, que se desarrolla en el Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Lleida, está financiado por el Ayuntamiento de Lleida.

SOLUCIONES TIPO DEL PRONTUARIO

En el trabajo que se está desarrollando se contempla, tanto para obras de paso peatonales y con vehículos, las siguientes tipologías de la superestructura.

- *Puentes de vigas*

Incluyen en esta tipología, aquellas soluciones estructurales que disponen de vigas principales longitudinales, dispuestas equidistantes a lo ancho del puente, encargadas de soportar las cargas que le transmite el tablero transversal de madera.

Atendiendo a la naturaleza de las vigas, estas pueden ser de :

- Madera laminada encolada
- Madera aserrada
- Madera en rollo

En la madera laminada encolada, al fabricarse con láminas de madera seleccionadas y poder evitar la concentración de defectos, la reducción de resistencia, con respecto a la que tiene la madera libre de defectos, es menor que la que se alcanza en la madera aserrada con tamaño estructural, además al utilizarse madera seca se consigue mayor estabilidad dimensional.

La limitación de longitud de las piezas laminadas viene impuesta generalmente por condiciones de transporte y montaje por lo que no es conveniente pasar de 24-30 m de longitud, a diferencia de las limitaciones de la madera aserrada impuestas por la especie y la escuadría a conseguir, por lo que las máximas luces no superaran los 6-10 m.

Como en las vigas, que trabajan principalmente a flexión, las cargas actúan perpendicularmente a las caras anchas de las láminas, la madera laminada será combinada, de tal manera que en las láminas externas, que deben soportar tensiones de tracción o compresión mayores que en las láminas interiores, la madera será de mayor calidad.

Atendiendo al tipo de tablero, que se construye encima de las vigas, este puede ser de :

- Paneles transversales de madera laminada y encolada
- Tablas planas de madera aserrada, dispuestas transversalmente y clavadas sobre las vigas
- Tablas de canto de madera aserrada, clavadas entre si, dispuestas transversalmente sobre las vigas

En los paneles transversales de madera laminada y encolada, como las cargas actúan en el plano paralelo a las caras anchas de las láminas, la madera laminada será homogénea.

Las diferentes combinaciones entre vigas y tablero dan a su vez diversas soluciones estructurales si bien las más convenientes son las que se reflejan en el Cuadro nº 1.

- *Puentes sin vigas*

Se engloban bajo esta nomenclatura aquellas soluciones estructurales carentes de vigas principales longitudinales equidistantes a lo ancho del puente, tales como :

- Tablero de tablas longitudinales clavadas de madera aserrada
- Tablero de tablas longitudinales comprimidas de madera aserrada
- Tablero de paneles longitudinales de madera laminada y encolada
- Tablero de paneles longitudinales comprimidos de madera laminada y encolada

SECCIONES TRANSVERSALES Y LUCES TIPO

Las secciones transversales normalizadas que se contemplan en el estudio, tanto para las pasarelas peatonales como para los puentes con tráfico de vehículos, se reflejan en los Cuadro nº 2 y nº 3 respectivamente, en función del uso previsto.

Tanto en los pasos de peatones y bicicletas como para los que tienen que soportar tráfico de vehículos, se realiza el estudio para las luces que se recogen en el Cuadro nº 4.

Se limita la luz máxima a 24 m por razones de tratamiento de la madera laminada y de transporte a obra.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

American Association of State Highway and Transportation Office (AASHTO). (1996). *Standard Specifications for Highway Bridges*. 16th ed. AASHTO Washington, DC.

Ministry of Transportation and Communications. (1983). *Ontario highway bridge design code*. Downsview, ON, Can :Ministry of Transportation and Communications.

RITTER, M. (1990). *Timber Bridges : Design, Construction, Inspection, and Maintenance*. USDA Forest Service. Washington, DC.

TIPOLOGIA DE LA SUPERESTRUCTURA			
	TABLERO		
VIGAS	Madera laminada	Tablas Planas	Tablones de canto
Madera laminada	X	X	X
Madera aserrada		X	X
Madera en rollo		X	X
CUADRO N° 1			

SECCIONES TRANSVERSALES EN PASARELAS PEATONALES		
CATEGORIA	TRÁFICO	ANCHURA TOTAL m
recreativo	uso exclusivo de peatones en zonas con escasa circulación	1
peatonal	uso exclusivo de peatones en zonas con posibilidades de aglomeración	2.5
peatonal +bicicletas	uso compartido por peatones y bicicletas con tráfico bajo	2.5
servicio	uso compartido por peatones y bicicletas con tráfico alto o con paso permitido de vehículos de servicio	3.5
CUADRO N° 2		

SECCIONES TRANSVERSALES EN PUENTES PARA VEHÍCULOS		
CATEGORI A	TRÁFICO	ANCHURA TOTAL m
1ª	una sola dirección sin aceras	4.5
2ª	una sola dirección con aceras	5.5
3ª	dos direcciones sin aceras	8
4ª	dos direcciones con aceras, tráfico ligero de peatones	9
5ª	dos direcciones con aceras, tráfico medio de peatones	10
6ª	dos direcciones con aceras, tráfico intenso de peatones	12
CUADRO N° 3		

PASARELAS PEATONALES Y PUENTES PARA VEHÍCULOS		
LUCES m	LUCES TIPO m	TIPOLOGIAS UTILIZABLES
< 6	3 - 3.5 - 4 - 4,5 - 5 - 5,5 - 6	todas
6-10	7 - 8 - 9 - 10	todas
10-24	12 - 14 - 16 - 18 - 20 - 22 - 24	madera laminada
CUADRO N° 4		