

TIMBER BRIDGE PROJECT

TRADUCCIÓN Y ADAPTACIÓN NELLY MALMANGER

El proyecto nórdico de madera ha promovido el interés por la construcción de puentes de madera al considerar la madera como una alternativa al acero y al hormigón en los países Nórdicos.

La conferencia pronunciada durante la feria en Lahti en agosto 2001, por los señores Otto Kleppe y Tormod Dyken, ingeniero jefe e ingeniero principal respectivamente de la Administración de la Carreteras Publicas de Noruega, da cuenta de algunas de las soluciones desarrolladas a fin de dar ejemplos del proyecto de puentes de madera en Noruega. Además demuestra hasta qué punto la madera está adoptada como material de construcción para puentes en Noruega.

Introducción

Hasta el siglo XX la madera era el material predominante para la construcción de puentes en Noruega. Particularmente durante la segunda mitad del siglo XIX la actividad y el número de puentes de madera se acrecentó. Puentes de arco laminado con pernos, impregnados con alquitrán de madera, aceite de higado de bacalao o aceite de linaza y recubiertos de tablón se hicieron muy populares. Algunos perduraron más de cien años.

Bien que algunos puentes peatonales de madera fueron construidos durante los años setenta el renacimiento de los puentes de madera en Noruega empezó con la planificación y construcción de las instalaciones deportivas para los juegos Olímpicos de Lillehammer en 1994, cuyo lema fue la protección del medio ambiente,

utilizando materiales naturales como la piedra y la madera. Durante la misma época, se desarrollaron nuevos y fiables métodos de construcción para nuevas soluciones estructurales. A diferencia de los otros países del proyecto Nórdico, la mayor parte del desarrollo en Noruega se halló dentro de la Administración Pública de Carreteras. La Administración de Carreteras vió un potencial económico al tener una tercera alternativa de material para la construcción de puentes y tuvo el poder financiero y personal para llevar a cabo varias actividades de desarrollo.

El Proyecto Nórdico de Puentes de Madera

El Proyecto Nórdico de Puentes se inició en 1995 después de una iniciativa del Instituto Nórdico del Desarrollo de la Madera. El motivo fue una visión para la utilización de madera para grandes estructuras como instalaciones deportivas y puentes. El objetivo fue crear una alternativa competitiva a los materiales tradicionales (hormigón y acero), eliminando algunos de los tópicos negativos sobre los puentes de madera, incrementando el conocimiento de la madera como material de construcción mediante investigación y proveyendo una información relevante sobre los puentes de madera a los responsables de tomar decisiones. Un producto competitivo incluye la duración de explotación y costos de operación. El proyecto está organizado en un comité de dirección y grupos nacionales de operación. Los grupos nacionales de operación constan de representantes de las diferentes organiza-

ciones de patrocinadores. Para cada subproyecto se han establecido grupos separados del proyecto. El proyecto se compone de tres fases con un presupuesto total de aproximadamente 2,6 millones de euros

Presupuesto del proyecto

Fase I	
1995-6	
976 000 EUR	
Fase II	
1997-8	
885 000 EUR	
Fase III	
1999 -2000	
707 000 EUR	

Los fondos del proyecto constan de una contribución del 50% proveniente de programas públicos de investigación, con Fondos Industriales Nórdicos (Proyecto Nórdico de Madera) como suscriptor principal y una contribución del otro 50 % de la industria nórdica, incluyendo la administración pública nórdica de carreteras.

Cada fase del proyecto consta de subproyectos y actividades con diferentes objetivos. Las actividades tratan de tópicos como las condiciones del mercado, el diseño estructural, la durabilidad y la comunicación de resultados. Las actividades eran de varios tipos, algunas de investigación, otras de trabajo de investigación y de desarrollo. Cada actividad concluyó con un informe; en conjunto se produjeron 34 informes. Dos de éstos son presentaciones de puentes específicos de madera en Finlandia, Suecia y Noruega incluyendo incluso especifi-



P U E N T E S

caciones de los costos y descripciones de los puentes.

Los grupos nacionales de operación, o los grupos de subproyectos, llevan a cabo el programa para las diferentes actividades. Considerando los resultados, merecen ser mencionados el subproyecto de fatiga, que probablemente va a causar un cambio en el estandar de diseño sobre este punto y el subproyecto sobre la cubierta (tablero laminado bajo presión) que probablemente también va a influenciar sobre las reglas del diseño.

Sin embargo, desde nuestro punto de vista, el resultado más importante es que la industria, consultores, arquitectos y autoridades de carreteras están más inclinadas a aceptar madera como material principal en los puentes.

Ahora un número creciente de personas van a considerar un puente de madera, bien diseñado y protegido como una alternativa durable frente a los puentes de acero y hormigón.

La Aproximación Noruega al Diseño Moderno de los Puentes de Madera.

La durabilidad de vida de los puentes en Noruega es aproximadamente 100 años, incluso para los puentes peatonales. A fin de cumplir con esta exigencia de durabilidad, son necesarios esfuerzos especiales, tanto para estructuras de madera como para otras estructuras. El grado de mantenimiento tiene que tener un nivel razonablemente bajo. No es aceptable que la parte principal de la estructura tenga que ser substituida por deterioro. El nivel de seguridad tiene que ser tan alto como para otros tipos de construcciones de puentes. Esto significa que no se acepta más que un accidente grave por cada diez mil puentes por año.

Lo que se puede llamar la aproximación Noruega a la construcción moderna de puentes de madera cuenta con dos pilares principales: La técnica de laminación con cola, utilizada para la estructura principal de carga, y la técnica de laminación bajo presión utilizada para la cubierta del puente. Madera laminada con cola da al diseñador excelentes posibilidades de dar forma a la madera según sus ideas. En Noruega se considera como ideal



FIGURA 01

una solución visual para la estructura principal de carga y, por supuesto la posibilidad de dar forma al material es una característica esencial.

Las cubiertas tradicionales de los puentes de madera, hechas con vigas, viguetas y entablado, eran las más corrientes hasta aproximadamente 1995, son normalmente demasiado flexibles y causan problemas en la capa de asfalto, haciendo que éste se agriete en las juntas permitiendo la penetración del agua. Esto tiene como consecuencia una vida de uso demasiado corta.

La cubierta de madera laminada bajo presión (Figura 2), introducida por primera vez en Canadá en los años setenta, se comporta como una placa homogénea, ortotrópica y soluciona los problemas de restallamiento de la

capa superior. Las mejoras más importantes, en comparación con soluciones anteriores, es la prolongación de la durabilidad del servicio de la cubierta y la reducción de los costos de producción. Además, el hecho de que la cubierta sea de madera laminada encolada permitió tener una capa impermeable encima de la madera y aplicar el mismo tipo de superficie como en la carretera adyacente.

A fin de establecer la fricción requerida entre las tablas, se utiliza tendones pretensados, de barras de acero con un diámetro de 15 mm y con la separación típica entre ellas de 600 mm. La resistencia a tracción debe ser lo más alta posible, limitada sólo por la presión de contacto abajo de la placa de anclaje.

A menudo la estructura principal



FIGURA 02



P U E N T E S

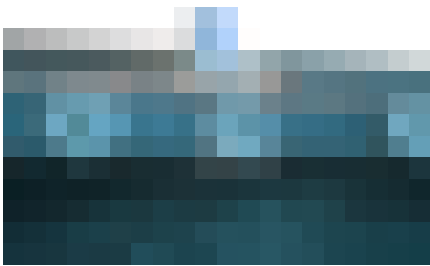


FIGURA 3



FIGURA 4



FIGURA 6



FIGURA 7



FIGURA 8

consta de elementos pesados de madera laminada encolada, compuestos una hasta cinco vigas laminadas, las cuales, a su vez, se unen entre sí con cola (Figura 4). Normalmente estos elementos están tratados con creosota y protegidos contra el clima mediante una cubierta de cobre encima, como se puede observar en la figura 1 .

Cuando se utilizan multi-vigas como las descritas, suele hacerse un tratamiento doble vacío con una impregnación de sales -CCA de las láminas y una impregnación con creosota sobre los elementos finales.

Los puentes de madera en Noruega están diseñados con madera en la estructura principal y para la cubierta, pero se emplea acero para las articulaciones, los herrajes de cuelgue, los empotramientos y para las vigas transversales (ver figuras 5 y 6).

Además el acero se utiliza para el entramado que soporta las fuerzas transversales del arco. También los postes de la valla de seguridad están anclados a las vigas transversales. Todos los elementos de madera están separados del suelo. Generalmente, en el diseño de los puentes de madera se emplean acero, hormigón y madera, dependiendo de la solución óptima para cada caso.

Debido a los pequeños movimientos

de la estructura de madera en dirección longitudinal causados por las temperaturas y la humedad, a menudo la cubierta de madera se diseña sin juntas de dilatación. Aún así el movimiento debido a las temperaturas es aproximadamente la mitad de la dilatación de los puentes de hormigón. El puente de Evenstad, con su cubierta de 180 metros, está construido sin juntas de dilatación. El movimiento actual, estimado observable visualmente en las grietas del asfalto, está a un máximo de 15 mm.

Todas las conexiones están diseñadas con placas embutidas que quedan en el interior de los elementos de madera para evitar la entrada de agua entre las cartelas de acero y la madera, así como para proteger el acero de la corrosión. A pesar de esta protección el acero en sí está galvanizado y pintado. Los pitones son de acero inoxidable resistente al ácido. No tiene que haber ninguna parte visible del acero en el exterior de la madera (Figuras 5 y 7).

Algunos puentes en Noruega

Los nuevos puentes noruegos de madera, incluso las pasarelas peatonales, tienen en su mayoría la cubierta de madera laminada bajo presión. El típico grosor de la placa es de 200 mm y el vano entre las vigas transversales es aproximadamente de 5 metros. Para vanos superiores la cubierta está formada por vigas de madera laminada - o tabloncillos laminados encolados. La figura 8 muestra una losa de puente. La losa está formada por vigas laminadas encoladas con un grosor de aproximadamente 300 mm. Como la losa está simplemente apoyada sobre un área con dos capas de alquitrán no hay ninguna verdadera estructura de soporte. Hasta ahora, solo se ha construido un puente de este tipo. Sin embargo, un puente similar, con tres vanos para ferrocarriles ha sido construido hace poco, y - visto que el concepto es muy económico- se están planificando otros del mismo tipo.

El puente peatonal de la figura 9 consta de paneles de armazón con una altura de 1,8 m, una cubierta de laminadas bajo presión sostenida por



P U E N T E S

vigas transversales de acero y un vano de 24 m. Fue construido el año 2000. Hasta hoy, siete puentes de armazón de este tipo han sido construidos. El coste es ligeramente superior al coste de un puente de arco.

La figura 10 muestra el puente de Grylla, con una altura de viga de 1,2 m y un vano de 10 m. Fue construido en 1997.

Este viga-puente está hecho de tablones laminados con cola sobre siete vigas laminadas. Los tensores de tracción tienen la misma resistencia que las cubiertas laminadas ordinarias. La medida de los tableros en la cubierta es de 2" x 8".

La figura 11 muestra el puente de Beston, un puente con pendolón con una cubierta de tablonera laminada de 8". Se han construido dos puentes de este tipo y no son caros. El diseño del puente de pendolón se basa en antiguos principios tradicionales, pero incluyendo nuevas experiencias. El entramado de codal está hecho de vigas de madera laminadas encolada, en total consta de tres vigas unidas mediante encolado. La superficie tiene un recubrimiento de zinc.

La cubierta del puente es una placa laminada, sostenida por vigas transversales de acero. El pendolón y las vigas transversales forman un entramado de acero con un perfil de U apoyando los codales inclinados oblicuamente.

Este puente es estrecho, pero construido para camiones que transportan madera. El vano del centro es de 20, 2 m y el largo total es de 25 m. Fue construido en el año 2000. En total - y recientemente- se han construido otros tres puentes de pendolón.

Los puentes de arco tienen casi siempre tres articulaciones y elementos de multi-vigas.

A veces, la articulación del ápice está parcialmente fijada, conectada con un encaje en las placas de acero con pernos. La conexión permite algo de rotación debido a la deformación de las hendiduras del perno. La zapata, en el estribo del puente, consta de una placa de asiento con placas de acero soldadas con encaje y una bisagra de tornillo.

La figura 12 muestra el puente de Fønhus, que es un puente de carretera con un vano de 28 m y un largo total de 35,5 m. Fue construido en 1998.

En Noruega solo hay uno de estos



FIGURA 9

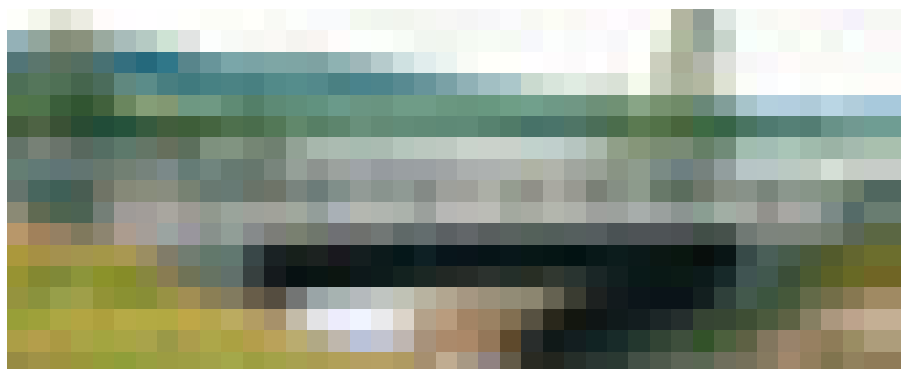


FIGURA 14

Tabla 2. Numero y largo total de los puentes de Noruega

	Puentes de losa	Puentes de viga	Puentes de pendolón	Puentes de armazón	Puentes de arco
Peatonales	1 (4m)	14 (480m)	5 (100m)	7 (290m)	2 (91m)
De carretera	1 (8m)	2 (20m)	3 (90m)	1 (180m)	7 (165m)

FIGURA 10





P U E N T E S

puentes de arco con la estructura de soporte debajo de la cubierta. Representa un ejemplo de un puente de tres articulaciones con una articulación falsa en el ápice. El coste es competitivo comparado con puentes de hormigón.

Normalmente, los puentes de armazón son más convenientes para vanos largos. Los elementos constructivos están conectados mediante placas de acero, encajados, con pernos. Para el puente de la figura 13, el puente de Evenstad, las dimensiones de la viga superior son 420 x 466 mm. Este puente se construyó en 1996 y consta de cinco vanos de 36 m, sumando un largo total de 180 m. La cubierta del puente tiene una capa impermeable "Topeka" y una recubierta hilada de asfalto. Solo un único puente de armazón de este tipo ha sido construido en madera.

La figura 14 muestra una parte del nuevo puente de Tynset, inaugurado en junio del 2001. El puente tiene tres vanos con un vano principal de 70 m con un arco de armazón de tres articulaciones.

Puentes construidos durante el siglo pasado

Antes de 1900 sólo se construyeron unos pocos puentes peatonales en Noruega. Sin embargo, desde 1992, y especialmente a partir de 1996, el número de puentes construidos se ha incrementado considerablemente, debido principalmente al Proyecto Nórdico de Puentes de Madera.

El número y el largo total de los diferentes puentes, construidos para la red de carreteras públicas en la época 1992 - 2000, está ilustrado en la tabla 2, (no están incluidos los puentes de ferrocarril, puentes forestales, privados y de parques).

Esto significa que durante los últimos ocho años se han construido 42 puentes de madera, con una longitud total de 1 427 metros.

El número de puentes de madera, y el número total de puentes construidos durante la misma época está comparado en el gráfico de la figura 15. A fin de obtener una comparación relevante el número total de puentes está reducido por el número de puentes en terraplén, como, por ejemplo, las alcantarillas y por los puentes con un vano superior a los 100 m.



FIGURA 11



FIGURA 12



FIGURA 13



FIGURA 15. LA PARTE DE Puentes DE MADERA EN NORUEGA.

EN EL DIAGRAMA SE PUEDE OBSERVAR QUE EL PORCENTAJE DE Puentes DE MADERA, COMPARADO CON LOS DE ACERO Y HORMIGÓN, ESTÁ EN AUMENTO. SOBRESALE EL NÚMERO CRECIENTE DE Puentes DE MADERA DE CARRETERAS CONSTRUIDOS DURANTE LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS. FINALMENTE, MERECE SER MENCIONADO QUE HAY PLANES PARA, EN EL FUTURO PRÓXIMO, CONSTRUIR Puentes DE MADERA TODAVÍA MÁS LARGOS. UN Puentes DE ARMazón CON UN VANO PRINCIPAL DE 70 M Y OTRO Puentes DE ARMazón CON VARIOS VANOS DE APROXIMADAMENTE 60 M ESTÁN SOBRE LA MESA DE DIBUJO.