

# Índice

<b>Capítulo 1: Antecedentes históricos .....</b>	<b>9</b>
1.1 Las primeras aproximaciones: rollizos y sistemas colgantes .....	9
1.2 La evolución y las técnicas militares .....	10
1.3 Centro de Europa. Siglo XVIII .....	14
1.4 Arcos y celosías. Siglo XIX .....	15
1.5 Siglo XX .....	20
<b>Capítulo 2: Tipos estructurales .....</b>	<b>23</b>
2.1 Generalidades .....	23
2.2 Puentes con sistema estructural de placas .....	24
2.2.1 Introducción .....	24
2.2.2 Prototipos de puentes peatonales y vehiculares de madera .....	27
2.3 Sistemas estructurales de barras .....	31
2.3.1 Introducción .....	31
2.3.2 Prototipos de puentes peatonales de madera .....	37
2.3.3 Prototipos de puentes vehiculares de madera .....	46
2.4 Observaciones finales .....	55
<b>Capítulo 3: Nuevas tecnologías .....</b>	<b>57</b>
3.1 Introducción .....	57
3.2 Protección por diseño .....	57
3.3 Evolución de las técnicas de encolado y de concepción de los sistemas estructurales .....	60
3.4 Evolución de las técnicas de fabricación .....	63
3.5 Evolución de los materiales derivados de la madera .....	65
3.6 Evolución de los elementos de unión .....	67
3.7 Resumen y prospectiva .....	75
<b>Capítulo 4: Durabilidad .....</b>	<b>79</b>
4.1 Introducción .....	79
4.2 Protección de la madera .....	81
4.2.1 Generalidades .....	81
4.2.2 Requerimientos .....	82
4.2.3 Agentes biológicos y clases de riesgo .....	83
4.2.4 Materiales .....	85



4.3 Protección química .....	86
4.4 Protección por diseño .....	87
4.4.1 Generalidades .....	87
4.4.2 Medidas preventivas contra la humedad para elementos protegidos .....	87
4.4.3 Medidas en presencia de humedad para elementos no protegidos .....	99
<b>Capítulo 5: Proyecto de la estructura .....</b>	<b>109</b>
5.1 Generalidades .....	109
5.2 Acciones .....	111
5.2.1 Acciones permanentes .....	111
5.2.2 Acción del tráfico .....	112
5.2.3 Acción del viento .....	139
5.2.4 Acción de la nieve .....	151
5.2.5 Acciones térmicas .....	156
5.2.6 Acciones debidas al agua .....	159
5.2.7 Acciones sísmicas .....	159
5.3 Bases de proyecto .....	161
5.3.1 Acciones .....	161
5.3.2 Material .....	164
5.3.3 Situaciones de proyecto .....	171
5.3.4 Durabilidad .....	175
5.4 Análisis estructural .....	177
5.4.1 Tableros laminados .....	177
5.4.2 Piezas mixtas de madera y hormigón .....	181
5.5 Estados límite últimos .....	182
5.5.1 Generalidades .....	182
5.5.2 Placas .....	182
5.5.3 Fatiga .....	186
5.6 Estados límite de servicio .....	190
5.6.1 Generalidades .....	190
5.6.2 Limitación de la deformación .....	191
5.6.3 Vibraciones .....	192
5.7 Uniones .....	195
5.7.1 Generalidades .....	195
5.7.2 Conexiones madera-hormigón en vigas mixtas .....	195
5.8 Recomendaciones sobre las dimensiones .....	197

<b>Capítulo 6: Criterios de diseño para puentes con sistema de arcos de madera laminada y tablero tensado .....</b>	<b>199</b>
6.1 Introducción .....	199
6.2 Ejemplo de aplicación de un proyecto .....	199
6.3 Acciones consideradas en el cálculo .....	201
6.3.1 Cargas solicitantes .....	201
6.3.2 Combinaciones de carga .....	204
6.4 Análisis por ordenador .....	205
6.4.1 Método de cálculo .....	205
6.4.2 Resultados del análisis matricial .....	206
6.5 Placa de madera tensada .....	207
6.5.1 General .....	207
6.5.2 Calidad de la madera tensada .....	207
6.5.3 Calidad del acero .....	208
6.5.4 Carpeta de rodado .....	208
6.5.5 Consideraciones de diseño .....	208
6.5.6 Procedimiento de cálculo .....	209
6.5.7 Aplicación al ejemplo .....	215
6.6 Arcos de madera laminada .....	217
6.7 Acero Estructural .....	217
6.7.1 General .....	217
6.7.2 Método de diseño .....	217
6.8 Estabilidad .....	217
6.9 Cimentación .....	218
6.10 Uniones .....	218
6.10.1 General .....	218
6.10.2 Detalles de las uniones .....	218
<b>Bibliografía .....</b>	<b>231</b>
<b>Anexo A: Ejemplos .....</b>	<b>239</b>
<b>Anexo B: Bases de cálculo del Eurocódigo 5 .....</b>	<b>255</b>
<b>Anexo C: Diseño sísmico de acuerdo con el Manual de Carreteras, Chile .....</b>	<b>263</b>
<b>Anexo D: Bases de cálculo de estructuras de madera laminada encolada según la norma Chilena NCh 1198.....</b>	<b>269</b>



# Capítulo 6:

# Criterios de diseño

## para puentes con sistema de arcos de madera laminada y tablero tensado

### 6.1 Introducción

En este capítulo se describe en forma general la estructuración básica, los materiales y criterios empleados en el diseño estructural de puentes vehiculares con el sistema de arcos de madera laminada y tableros de madera tensada. Además se consideran vigas transversales de acero, que sostienen la placa tensada.

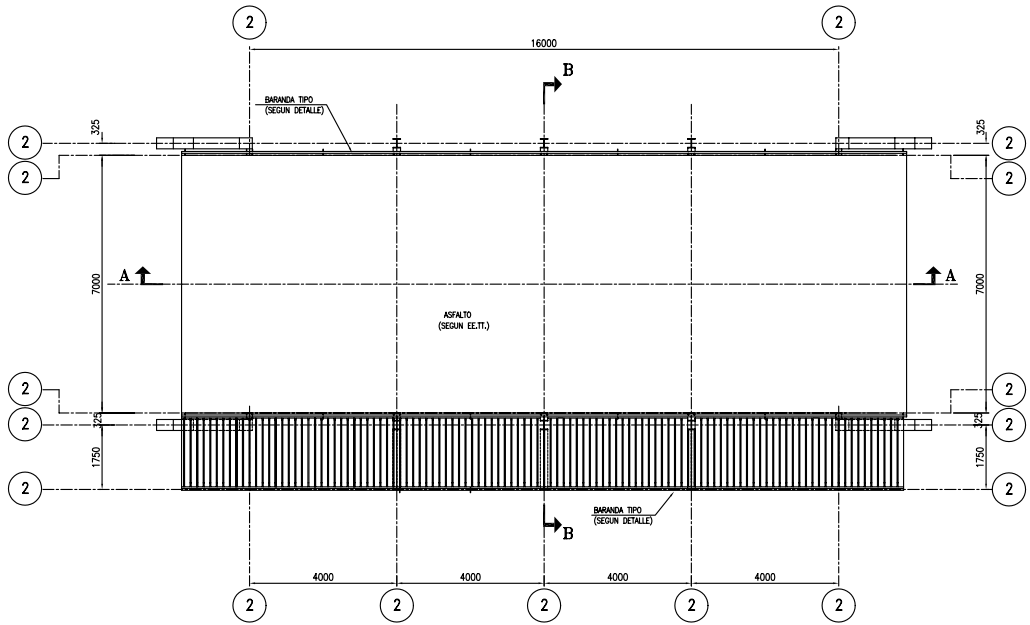
Las fundaciones dependen del tipo de suelo y la geometría del vano a cubrir por el puente y son generalmente de hormigón armado del tipo zapatas aisladas para cada apoyo de los arcos principales, unidas con un viga de arriostre. En suelos de mala calidad podría requerirse de fundaciones con pilotes.

La descripción de los elementos constructivos y del proceso de diseño se realiza tomando como base un ejemplo real de un proyecto de un puente de vehículos. Se trata del puente sobre el río Malleco en la ciudad de Temuco, Chile.

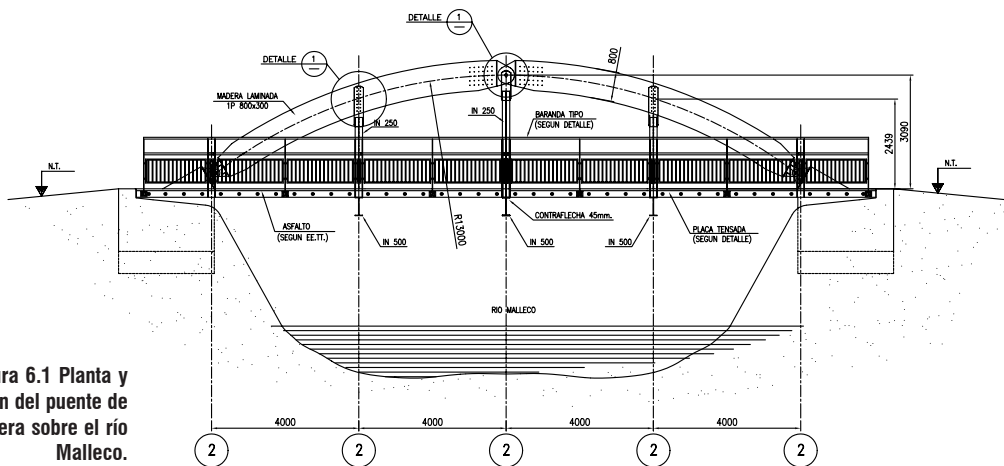
### 6.2 Ejemplo de aplicación de un proyecto

Como ejemplo de aplicación, se muestra el puente de madera de  $16\text{ m}$  de luz, localizado en la Ruta Inter Lagos, sobre el río Malleco, en la IX Región, cerca de la ciudad de Temuco. Consta de dos arcos triarticulados de madera laminada, la placa tensada con un ancho de calzada de  $7,0\text{ m}$  (dos vías) más una calzada de  $1,5\text{ m}$  para peatones. Se compone de vigas curvas (arcos) de madera laminada, de  $400\times 950\text{ mm}$  de sección transversal. De estas vigas cuelgan elementos metálicos de sección H  $250\times 250$ , los

que realizan la labor de tensores. Estos tensores sostienen vigas transversales cada 4,0 m, de sección IN 550x250, las que sirven de soporte a la carpeta de rodado. La carpeta de rodado se compone de placas de madera tensada, cubriendo la luz completa del puente. Como terminación, sobre la placa de madera tensada, se dispondrá una carpeta de 5 cm de asfalto, figuras 6.1 y 6.2.



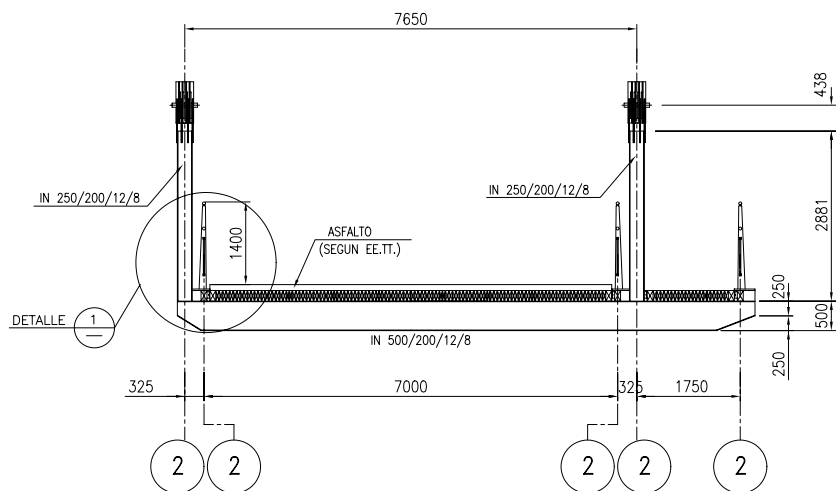
PLANTA



SECCION A - A

Figura 6.1 Planta y sección del puente de madera sobre el río Malleco.





## SECCION B - B

Figura 6.2 Sección transversal del puente sobre el río Malleco.

Para las condiciones de apoyo se considera que los arcos están simplemente apoyados en las fundaciones, lo que modela el efecto de las rótulas de éstos. La placa de madera tensada se apoya simplemente sobre las fundaciones.

## 6.3 Acciones consideradas en el cálculo

### 6.3.1 Cargas solicitantes

#### a) Peso propio

Estructura de madera laminada	:	550	kg/m <sup>3</sup>
Hormigón armado	:	2.500	kg/m <sup>3</sup>
Barandas	:	150	kg/ml
Carpeta de asfalto	:	1.500	kg/m <sup>3</sup>
Perfiles metálicos	:	7.580	kg/m <sup>3</sup>

**b) Sobrecargas**

De uso en veredas :	415 kg/m <sup>2</sup>
Camión HS 20-44 :	32.750 kg

**c) Viento**

La presión básica utilizada es de  $69 \text{ kg/m}^2$  para vientos de  $120 \text{ km/h}$ , según la NCh 432. Los coeficientes de empuje sobre la estructura, se determinan según lo indicado en dicha norma. Las fuerzas se determinarán con la presión básica, los coeficientes de empuje y el área expuesta.

**d) Sismo**

El diseño sísmico se realiza utilizando los criterios entregados por el Manual de Carreteras, Volumen 3, Parte III. Este documento puede ser empleado para puentes, viaductos, pasos desnivelados y pasarelas peatonales, con luces no mayores a los  $70 \text{ m}$ .

Los movimientos y las fuerzas sísmicas indicadas están basadas en una probabilidad de no excedencia del  $90\%$  durante la vida útil de la estructura, estimada en  $50$  años. Los puentes y sus componentes que son diseñados para resistir estas fuerzas pueden sufrir daño, pero tienen una muy baja probabilidad de colapsar debido a la acción sísmica.

Estas especificaciones, junto con las normas de diseño especificadas para cada material, están orientadas a lograr estructuras que:

- Resistan sin daño, en el rango elástico, movimientos sísmicos de intensidad moderada.
- Limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad.
- Aunque presenten daños eviten su colapso total o parcial durante sismos de intensidad excepcionalmente severa. Dentro de lo posible, el daño que ocurriera debería presentarse en zonas en que puede ser detectado rápidamente y de fácil acceso para su inspección y reparación. El riesgo de vida humana en estos casos debe ser mínimo, no aceptándose como principio general.

Estas especificaciones son aplicables a todo el territorio de Chile. El peligro sísmico varía en el país de norte a sur, razón por la cual, para objetivos de diseño, se han definido tres categorías de Comportamiento sísmico (CCS) en base a la aceleración efectiva máxima del suelo  $A_0$  del lugar y a un coeficiente de importancia del puente (CI).



La aceleración efectiva máxima  $A_0$  se determina a partir del mapa de zonificación sísmica Chileno.

El coeficiente de importancia del puente depende de un criterio de línea vital para el conjunto puente – camino. Como consecuencia de ello un puente intermedio con carácter de esencial deberá funcionar durante y después de un terremoto. Un puente será definido como esencial sobre la base de aspectos tanto económicos, como sociales, de mitigación del desastre sísmico y de defensa.

Los parámetros que son relevantes en el diseño sísmico de acuerdo con el Manual de Carreteras (Vol. 3, Parte III) son los siguientes:

*Zona sísmica:* El territorio nacional chileno se divide en tres zonas sísmicas (1, 2 y 3) cuyo valor va en aumento con el peligro sísmico.

*Peligro de socavación sísmica:* Corresponde al nivel de socavación remanente después de ocurrida la socavación máxima, y se expresa como un porcentaje de esta última.

*Tipo de suelo de fundación:* Se diferencian cuatro tipos de suelo (I, II, III y IV) en función de su constitución (desde la roca hasta los suelos cohesivos saturados). Permite incorporar el efecto del suelo en los coeficientes sísmicos y espectros de diseño.

*Coefficiente de importancia:* En las zonas sísmicas 2 y 3 deberá considerarse un coeficiente denominado de importancia, en función de la relevancia de la construcción: I para puentes y estructuras esenciales y II para otros puentes y estructuras.

Si se utiliza el Método del Coeficiente Sísmico para el cálculo se deduce, a partir de los datos anteriores un coeficiente sísmico horizontal ( $K_p$ ). Este coeficiente aplicado a las cargas gravitatorias permite deducir los esfuerzos horizontales estáticos equivalentes al efecto dinámico del sismo.

En el anexo C “Diseño sísmico de acuerdo con el Manual de Carreteras, Chile” se explica este procedimiento con más detalle.

Utilizando el procedimiento descrito, para este proyecto en particular, se obtienen los siguientes parámetros:



Zona sísmica:	:	Zona 2
Peligro de socavación sísmica	:	100%
Tipo suelo de fundación	:	III
Coefficiente de importancia	:	CI = I
Coefficiente sísmico horizontal	:	$K_h = 0.12$

### 6.3.2 Combinaciones de carga

Se utilizan las siguientes combinaciones de carga

Para deformaciones, cálculo de elementos de madera laminada (tensiones) y elementos metálicos, y cálculo de fundaciones (forma):

- 1) 1,0 PP + 1,0 SC
- 2) 1,0 PP + 1,0 SC + 1,0 CAi
- 3) 1,0 PP + 1,0 SC + 1,0 CAi + 1,0 SX + 0,3 SZ
- 4) 1,0 PP + 1,0 SC + 1,0 CAi + 1,0 SZ + 0,3 SX
- 5) 1,0 PP + 1,0 SC + 1,0 CAi + 1,0 VT

Para cálculo de elementos de hormigón armado (determinación de armaduras):

- 6) 1,4 PP + 1,7 SC
- 7) 1,4 PP + 1,7 SC + 1,7 CAi
- 8) 1,4 PP + 1,4 SC + 1,4 CAi + 1,4 SX
- 9) 1,4 PP + 1,4 SC + 1,4 CAi + 1,4 SZ
- 10) 1,4 PP + 1,4 SC + 1,4 CAi + 1,4 VY
- 11) 0,9 PP + 1,4 SX
- 12) 0,9 PP + 1,4 SZ
- 13) 0,9 PP + 1,4 VT

donde:

PP = Peso propio

SC = Sobrecarga

CAi = Camión HS-44, en las diversas posiciones consideradas

SX = Cargas sísmicas en la dirección longitudinal

SZ = Cargas sísmicas en la dirección transversal

VT = Presión de viento en la dirección transversal



## 6.4 Análisis por ordenador

### 6.4.1 Método de cálculo

Se realiza un análisis matricial tridimensional de estructuras, considerando modelaciones de los distintos ejes que componen la estructura resistente, que toman en cuenta las condiciones de apoyo existentes, la forma de los elementos (vigas, tensores, etc.), con su área e inercia asociados, tramos rígidos, además de las fuerzas correspondientes a los diferentes estados de carga considerados.

En el análisis se empleó el programa de análisis y diseño estructural *RAM Advance*, el cual permite modelar el comportamiento de la estructura bajo la acción de las diferentes combinaciones de carga. Este programa se basa en la utilización de elementos del tipo barra de seis grados de libertad por nodo, a nivel elemental permite definir secciones y materiales diferentes para cada barra. El programa trabaja asumiendo que en los elementos componentes de la estructura, se cumplen las siguientes hipótesis:

- Una relación entre desplazamientos y deformaciones de primer orden.
- Una relación entre tensiones y deformaciones del tipo elástica lineal e isotrópica.

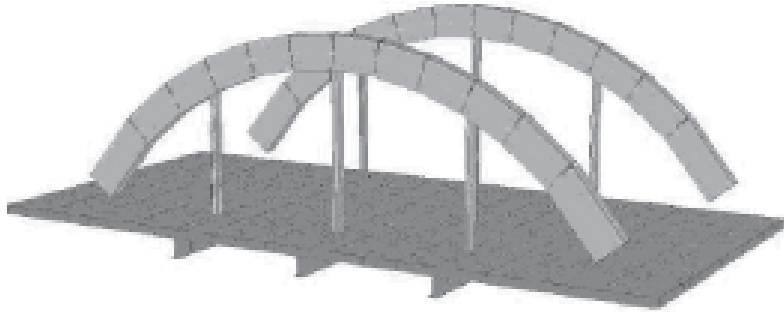
Las cargas solicitantes (peso propio, sobrecarga, camión, y eventualidades) descargan en las barras, nudos o placas, según corresponda, y se calculan por áreas tributarias. Las cargas sísmicas se obtienen del análisis sísmico estático que se realiza a la estructura global, se determinan los desplazamientos de los nudos con lo cual se obtienen los esfuerzos.

Con los esfuerzos de cada uno de los estados de carga se realizan las combinaciones de carga arriba indicadas. Con la combinación de carga máxima determina el diseño de los elementos, verificando que el resto de las combinaciones esté bajo la combinación máxima seleccionada.

Los elementos de madera laminada se verifican con las indicaciones del Manual de Diseño de Madera Laminada editado por el INFOR en 1992 y con la NCh 1198 de Construcciones en madera. Los elementos de hormigón armado se diseñarán con el código ACI 318-99.

Los elementos de anclaje se calcularán con las reacciones obtenidas del análisis.

Las fundaciones se diseñan con los esfuerzos obtenidos del análisis, se las considera como zapatas flexibles y el diseño busca mantener las tensiones en el suelo bajo los márgenes admisibles y asegurar la estabilidad de la estructura, limitando el giro de la fundación. Se realiza una modelación de viga sobre lecho elástico, considerando el coeficiente de balasto del suelo.



**Figura 6.3** Modelo computacional 3D.

## 6.4.2 Resultados del análisis matricial

**General:** En general, el puente tiene un buen comportamiento ante las cargas de servicio y las eventuales, manteniendo las tensiones de trabajo bajo los márgenes admisibles por las diferentes Normas de diseño, y se controlan las deformaciones verticales y laterales, de manera que no se comprometa la serviciabilidad de la estructura. En los anexos se presentan ejemplos de diseño y verificación para cada uno de los elementos estructurales.

**Tensiones:** Se revisan las tensiones producidas en los elementos por los diferentes estados de carga considerados, cuidando de mantenerlos dentro de rangos admisibles. Para los elementos de madera laminada se verifica el pandeo lateral, flexotorsional, etc., lo que, de acuerdo a las características geométricas del elemento, puede incidir en forma fundamental en su capacidad a compresión o flexión. En todo caso las tensiones de trabajo de los elementos utilizados como componentes de la estructura, están bajo las tensiones máximas admisibles.

**Deformaciones:** Se chequea la magnitud de las deformaciones, cuidando de mantenerlas bajo las admisibles de manera de no comprometer la estabilidad ni la serviciabilidad de la estructura.

**Fundaciones:** Las fundaciones deben proporcionar buen apoyo al arco del



puede, manteniendo las tensiones en el suelo bajo las admisibles. El giro de las fundaciones se limitará restringiendo el porcentaje de área comprimida bajo las zapatas a un 80%.

## 6.5 Placa de madera tensada

### 6.5.1 General

Los tableros tensados de láminas de madera consisten en tablones (láminas) dispuestos de canto en la dirección longitudinal y que se tensan en la dirección transversal con tensores de alta resistencia. Esta tecnología es una de las más nuevas en la construcción de puentes de madera y tiene varias ventajas sobre otros tipos de tableros.

A través de la tensión del tensado transversal, la placa de rodado adquiere esencialmente la función estructural de repartir las cargas, de tal manera que las láminas vecinas, que no se encuentran directamente cargadas, también colaboran a resistir parte de la carga. La placa transmite las cargas al sistema estructural principal y además se puede utilizar como elemento estabilizador para cargas horizontales.

La compresión entre las láminas y la resistencia de fricción son los mecanismos que permiten que los componentes trabajen como una placa integrada.

### 6.5.2 Calidad de la madera tensada

El tablero de madera tensada está compuesto por maderos cepillados o aserrados de 2" a 4" de espesor, usualmente madera de pino radiata, por ser la más barata y fácil de impregnar. El largo de estos maderos debe ser de por lo menos 3,2 m y deben colocarse en forma traslapada, de modo que las uniones de tope estén distanciadas por lo menos 1,25 m entre sí, y se repitan cada 3, 4 o 5 maderos en la misma línea.

La madera debe ser grado GS o Grado G1, de acuerdo a la clasificación de la Norma NCh 1198 Of91.

Las tensiones admisibles de la madera se corrigen con factores de mayoración y minoración, similar a lo indicado en el anexo C para la madera laminada.

### 6.5.3 Calidad del acero

Los tensores de los tableros de madera deben ser de alta resistencia, en los diámetros que indica el cálculo. Deben cumplir la Norma ASTM A722-82 y 615-82. Las tensiones de trabajo son del orden de los  $10.000 \text{ kg/cm}^2$ . Los tensores deben ser roscados, de modo de poder tensarlos fácilmente con tuercas. Se protegen contra la corrosión mediante galvanizado en caliente. Para evitar concentración de esfuerzos y distribuir la tensión del tensado en la placa de madera deben proveerse placas de acero de sección y tamaño apropiados, alternativamente, se coloca un elemento más duro en los extremos de la placa, que puede ser de madera dura como por ejemplo Eucaliptus, o un perfil de acero galvanizado.

### 6.5.4 Carpeta de rodado

Sobre el tablero de madera tensada se coloca una carpeta de asfalto en caliente, compactado con un rodillo sin vibrar, previa aplicación de una barrera impermeable y un imprimante apropiado. El espesor de esta carpeta depende del uso e intensidad de flujo del puente. Es usual emplear espesores de 8 a 10 cm. aplicado en dos capas. Esta carpeta de rodado es similar a la que se utiliza en puentes convencionales con terminación de asfalto. No se consideran juntas de dilatación a lo largo del puente, lo que también es una ventaja de este sistema de puentes.

### 6.5.5 Consideraciones de diseño

El diseño está controlado, principalmente, por cinco consideraciones:

- Asegurar que las tensiones de los materiales estén en el rango de las tensiones admisibles.
- Asegurar una rigidez suficiente y limitar la deflexión del puente a valores admisibles.
- Asegurar un mínimo de compresión entre las láminas del tablero de rodado.
- Evitar daños en la madera por una compresión demasiado alta.
- Proteger la madera de la intemperie.

El diseño del tablero tensado está limitado por las siguientes consideraciones:

- Ancho constante del tablero.
- Espesor constante del tablero.
- Forma rectangular (o eventualmente, con un ángulo menor a  $20^\circ$ ).
- Soportes continuos sobre el ancho del tablero, distanciados a no
- No más que una conexión de tope por cada 4 láminas y con una distancia mínima de 1,25 m.



## 6.5.6 Procedimiento de cálculo

Las etapas a seguir para el diseño de los tableros tensados son las siguientes:

a) Definir cargas y geometría de la placa.

- La envergadura efectiva es la distancia entre los centros de los soportes.
- Cargas de vehículos: El manual de carreteras define diferentes tipos de camiones, designados como H o HS.

Los camiones designados como H consisten en un camión de dos ejes, o su correspondiente línea de carga. Los camiones considerados por el Manual de carreteras para esta categoría son: H 15-44 y H 20-44. Las dimensiones de estos camiones se encuentran definidas en el capítulo 3.8.2.2 de la Norma AASHTO.

Los camiones designados como HS consisten en camiones con acoplados, o su correspondiente línea de carga. Los camiones considerados por el manual de carreteras para esta categoría son: HS 15-44 y HS 20-44. Las dimensiones de estos camiones se encuentran definidas en el capítulo 3.8.2.2 de la Norma AASHTO.

Sin importar el tipo de camión utilizado en el diseño, se debe considerar un tren de carga, es decir, la carga del camión debe ser aplicada en varios puntos, simulando el movimiento del camión por sobre el puente. De esta manera, para el diseño de cada elemento constituyente del puente, se deben determinar los esfuerzos máximos con las posiciones más desfavorables del camión.

Para este caso en particular se considera en el diseño la aplicación de un camión HS 20-44, debido a que este puente es un puente rural, que puede verse sometido a la acción de camiones forestales cargados, Figura 6.4.

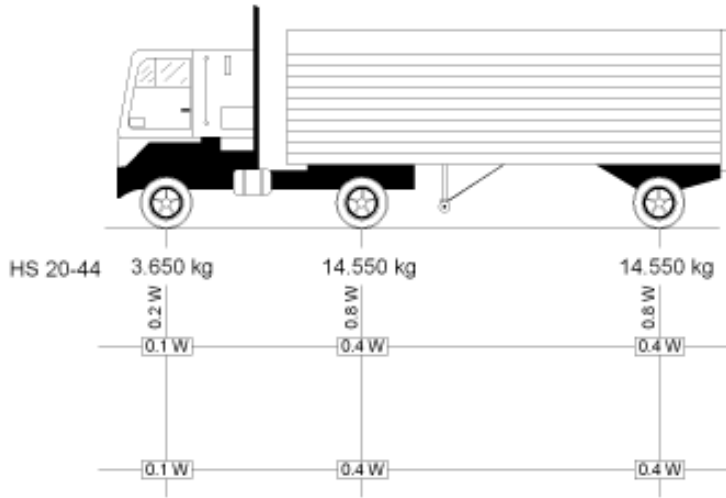


Figura 6.4 Camión HS 20-44

- b) Elegir especie y calidad de la madera y determinar las tensiones admisibles de la madera para la placa, es decir, los valores:
- $F_B$  : Tensión máxima en flexión ( $lb/in^2$ ).
  - $E_L$  : Módulo de elasticidad longitudinal ( $lb/in^2$ ).
  - $F_{cp}$  : Tensión máxima en compresión perpendicular ( $lb/in^2$ ).
- c) Estimar el grosor de la placa y el ancho de distribución de la carga puntual. Para un prediseño se puede adoptar estos espesores según la luz entre los apoyos según la tabla 6.1.

LUZ ENTRE APOYOS (ft)	ESPESOR (in)
$L < 10,0$	10
$10,0 < L < 20,0$	12
$20,0 < L < 30,0$	14
$30,0 < L$	16

Tabla 6.1 Estimación previa del espesor de la placa.

El ancho de la distribución transversal de cargas se determina según la siguiente expresión, figura 6.5:

$$D = (b_f + 2 \cdot d) \cdot C_b$$

donde:

$D$  : Ancho de la distribución transversal de la carga (in)



$b_f$  : Ancho de los neumáticos (in)

$$b_f = \sqrt{0,025 \cdot P_w}$$

$P_w$  : Carga puntual (lb)

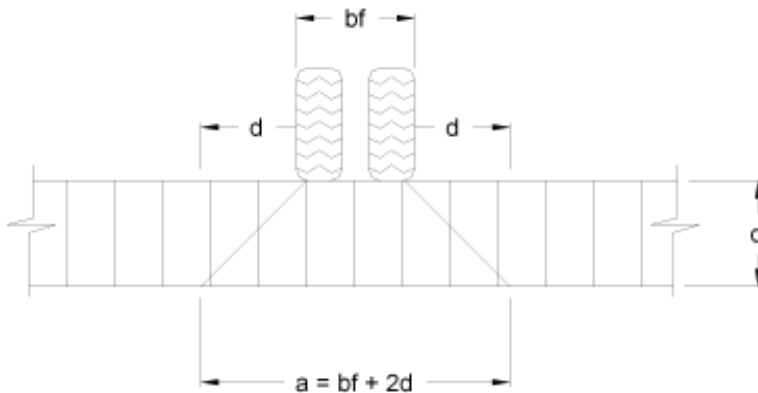
$P_w$  : Carga puntual (lb)

$d$  : Grosor de la placa (in)

$C_b$  : Factor de conexión de tope

$$C_b = \frac{j}{1+j};$$

$j$ : Número de láminas entre dos conexiones de tope con secutivos.



**Figura 6.5**  
Ancho de la distribución transversal de las cargas concentradas.

d) Calcular los momentos máximos bajo las cargas.

La carga de peso propio es calculada en base al grosor estimado de la placa. Las cargas adicionales de la superficie (asfalto, barandas, etc) se distribuyen sobre toda la placa.

La sobrecarga considerada en este punto debe ser el valor máximo obtenido de la posición más desfavorable del camión considerado.

$$M_T = M_{||} + M_{dl}$$

donde:

$M_{dl}$  : Momento máximo bajo peso propio. (lb·in)

$M_{||}$  : Momento máximo bajo sobrecarga. (lb·in)

Por lo general la luz del vano de una placa tensada no es muy elevada, de tal manera que el momento máximo debido a la carga del vehículo



corresponde a la posición centrada en el vano del eje de mayor carga. Para un puente de un solo tramo, con sus extremos simplemente apoyados sobre las cepas o fundaciones, se tiene:

$$M_{dl} = \frac{W_{dl} \cdot L^2}{8}$$

donde:

$W_{dl}$  : Carga de peso propio distribuida uniformemente. (lb/in)  
 $L$  : Envergadura efectiva (in).

e) Determinar el grosor requerido con la tensión admisible.

$$d \geq \sqrt{\frac{6 \cdot M_T}{D \cdot F_b}}$$

donde:

$M_T$  : Momento máximo =  $M_{ll} + M_{dl}$   
 $D$  : Ancho de distribución transversal (in)

f) Determinar el espesor requerido con la flexión admisible. Para un puente de un tramo, simplemente apoyado en sus extremos, se tiene:

$$\delta_{ll} = \frac{M_T \cdot L^2}{12 \cdot E_L \cdot I} \leq \frac{L}{500} \quad d \geq \sqrt[3]{\frac{500 \cdot M_T \cdot L}{E_L \cdot 1,15 \cdot D}}$$

$$I = \frac{1,15 \cdot D \cdot d^3}{12}$$

Cuando se consideran puentes de diversas luces, o se realiza una modelación computacional de éstos, se deben ingresar los valores obtenidos de dichos resultados

donde:

$I$  : Momento de Inercia (in<sup>4</sup>)  
 $M_T$  : Momento máximo (lb-in)  
 $L$  : Envergadura efectiva (in)  
 $E_L$  : Módulo de elasticidad (lb/in<sup>2</sup>)

g) Revisar el espesor elegido

Si los valores requeridos de los puntos e) y f) son mayores que el espesor elegido en el punto c), hay que elegir otro espesor y repetir los pasos



anteriores.

h) Calcular la flexión bajo peso propio y la contraflecha requerida

$$\delta_{dl} = \frac{5 \cdot M_{dl} \cdot L^2}{48 \cdot E'_L \cdot I} \quad I = \frac{D \cdot d^3}{12}$$

donde:

Contraflecha:  $\delta_{cf} = 3 \cdot \delta_{dl}$

i) Determinar el nivel requerido de tensión inicial del cable.

Se trata de obtener la tensión de compresión perpendicular sobre la madera que es función del momento transversal y del cortante transversal.

$$P_i = 2.5 \cdot P \quad \text{lb/in}^2$$

$$P = \text{MAX} \begin{cases} \frac{6 \cdot M_t}{d^2} \longrightarrow \text{flexión} \\ \frac{1.5 \cdot V_t}{v \cdot d} \longrightarrow \text{cizalle} \end{cases}$$

donde:

$P$  : Tensión inicial (lb/in<sup>2</sup>)

$d$  : Espesor de la placa (in)

$v$  : 0,35 para madera cepillada y 0,45 para madera aserrada

$M_t$  : Momento transversal (lb·in), determinado según la expresión indicada posteriormente

$V_t$  : Esfuerzo de corte transversal (lb), determinado más adelante.

$$M_t = \begin{cases} \frac{1,54 \cdot M_T}{1000 \cdot C_b^{0.25}} \times \left(\frac{b}{L}\right) \longrightarrow 1 \text{ via} \\ \frac{0,7900 \cdot M_T}{1000} \times \left(\frac{b}{L}\right)^{1/2} \longrightarrow 2 \text{ vias} \end{cases}$$

donde:

$M_T$  : Momento máximo bajo la carga del punto d).

$b$  : Medio ancho del tablero, (in).

$L$  : Envergadura efectiva (in).

$C_b$  : Factor de conexión de tope del punto c).

El valor del esfuerzo de corte transversal,  $V_t$ , se determina de la siguiente manera,

$$V_t = \frac{P_w}{1000} \times \left( 10,4 - \frac{b}{L} \right)$$

donde:

$P_w$  : Carga máxima de una rueda, (lb).

j) Seleccionar los espaciamientos de los elementos de tensión. No debe superar 60 in (1,50 m).

k) Determinar el tamaño de los elementos de tensión.

$$A_s = \frac{P_i \cdot s \cdot d}{f_s} \geq 0,0016 \cdot s \cdot d$$

donde:

$A_s$  : Área mínima de los elementos de tensión

$P_i$  : Tensión inicial del punto i)

$s$  : Espaciamiento de los elementos de tensión

$d$  : Espesor de la placa (in)

$f_s$  : Tensión admisible de los elementos de tensión (lb/in<sup>2</sup>)

l) Determinar el tamaño de los elementos de anclaje, figura 6.6.

El tamaño de la placa de anclaje se determinará según la expresión siguiente:

$$A_{pl} = \frac{P_i \cdot s \cdot d}{F_{CP}}$$

donde:

$A_{pl}$  : Área mínima de los elementos de anclaje (in<sup>2</sup>)

$P_i$  : Tensión inicial del punto i)

$s$  : Espaciamiento de los elementos de tensión (in)

$d$  : Espesor de la placa (in)

$F_{CP}$  : Tensión admisible en compresión perpendicular (lb/in<sup>2</sup>)

El espesor de la placa de anclaje se determina según la siguiente expresión:

$$t_p = \left( \frac{3 \cdot F_{bp} \cdot K^2}{f_s} \right)^{0,5}$$



donde:

- $t_p$  : Espesor de la placa (in).  
 $F_{bp}$  : Tensión real bajo el espesor de la placa (lb/in<sup>2</sup>).  
 $f_s$  : Tensión admisible de los elementos de tensión del punto (lb/in<sup>2</sup>).

$$K = \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} \frac{W_P - W_A}{2} \\ \frac{L_P - L_A}{2} \end{array} \right.$$

donde:

- $W_P$  : Ancho de la placa de anclaje (in)  
 $L_P$  : Largo de la placa de anclaje (in)  
 $W_A$  : Ancho de la placa de distribución (in)  
 $L_A$  : Largo de la placa (in)  
 $L_A$  : Largo de la placa de distribución (in)

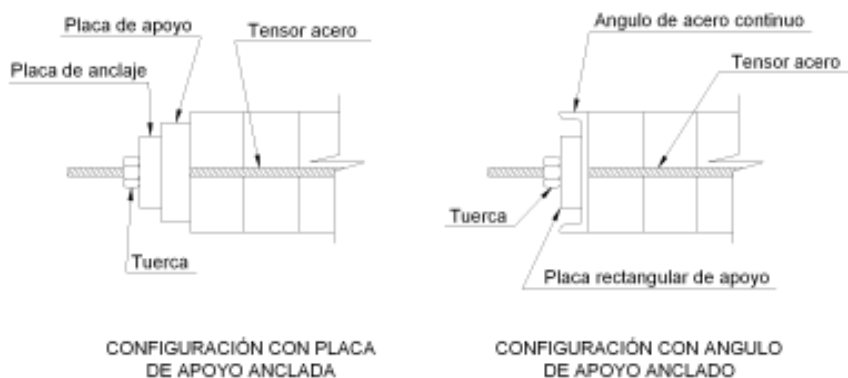


Figura 6.6  
Soluciones para el anclaje.

### 6.5.7 Aplicación al ejemplo

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de una placa de madera tensada, a emplearse en el nuevo puente sobre el río Malleco.

## DISEÑO DE PLACAS TENSADAS DE MADERA DE PINO

**PROYECTO:** Puente de madera sobre Rio Malleco  
**CALCULÓ:** G.B.C.  
**REVISÓ:** J.M.S.

### Datos generales:

Longitud vano libre =	<b>157,5</b> (in) (4 m)	$F_B =$	<b>1.066,5</b> (lb/in <sup>2</sup> ) (75 kg/cm <sup>2</sup> )
Longitud total =	<b>787,4</b> (in) (20 m)	$E_L =$	<b>1279800</b> (lb/in <sup>2</sup> ) (90.000 ,, )
Ancho tablero =	<b>374,0</b> (in) (9,5 m)	$F_{cp} =$	<b>355,5</b> (lb/in <sup>2</sup> ) (25 ,, )
Carga máxima (1) =	<b>32.000</b> (Lb) (14.550 kg)	$d =$	<b>12,00</b> (in) (30,48 cm)
		Madera:	<b>1</b> (1: Cepillada 2: Aserrada)

### Ancho de distribución de cargas:

$D(2) =$  41.8 (in) (106 cm)  
 $j =$  **4** (Láminas entre conexiones de tope)  
 $C_b =$  0.80

Momento por peso propio = **35.674,8** (Lb-in) (41.102 kg-cm)  
 Momento por sobrecarga = **1.015.473,2** (Lb-in) (1.169.971 kg-cm)  
 $M_T =$  1.051.148,0 (Lb-in) (1.211.073 kg-cm)

Espesor requerido:  $d >$  11,89 (in) (30,2 cm) **OK!!!**

### Espesor requerido con la flexión admisible:

$\delta_{real} =$  **0,12** (in) (0,30 cm)  
 $\delta_{adm} =$  1.57 (in) (4 cm) **OK!!!**  
 Espesor requerido:  $d >$  11.0 (in) (27,94 cm)  
 $I(3) =$  6927,2 (in<sup>4</sup>) (288.331 cm<sup>4</sup>)

### Contraflecha:

$I(3) =$  6.019,2 (in<sup>4</sup>) (250.538 cm<sup>4</sup>)  
 $\delta_{dl} =$  0,32 (in) (0,81 cm)  
 Contraflecha  $\delta_{cf} =$  0,95 (in) (2,41 cm)

### Tensión inicial en el cable:

Nº vias = **2**  
 $M_t =$  904,91 (lb-in) (1.041 kg-cm)  $P_M =$  37,7 (lb)  
 $V_t =$  248,36 (lb) (112,65 kg)  $P_V =$  91,7 (lb)  
 $\nu =$  0,35  
 Tensión inicial :  $P_i =$  91,74 (lb/in<sup>2</sup>) (6,45 kg/cm<sup>2</sup>)

### Espaciamiento entre elementos de tensión:

$S =$  **19,69** (in) (50 cm)

### Area de los elementos de tensión:

$f_s =$  **38.394,00** (lb/in<sup>2</sup>) (2.700 kg/cm<sup>2</sup>)  
 $A_s =$  0,564 (in<sup>2</sup>) (3,64 cm<sup>2</sup>)

### Notas:

- (1) Es el valor de la carga máxima por eje.
- (2) El ancho de distribución de cargas se ha determinado para una carga igual a la carga máxima por eje. El ancho de distribución obtenido es el doble del correspondiente a una rueda (o pareja de ruedas). No obstante, la carga es también doble, y por tanto es equivalente a haber considerado una carga por rueda y su ancho correspondiente.
- (3) El momento de inercia utilizado en la comprobación de la tensión de flexión, incluye un coeficiente de mayoración de 1,15, que tiene en cuenta el efecto de la tensión transversal.



anexos

237



# Anexo A:

## Ejemplos

### 1.- PUENTE PEATONAL SOBRE EL RHIN-MAIN-DONAU, Essing, Alemania.

**Año** : 1987  
**Largo total** : 192 m.  
**Luz libre** : 30,8 + 32 + 9,2 + 73,3 + 9,2 + 35,4 m.

Sistema estructural:

Sistema de 9 cables de madera laminada dispuestos en una sucesión de tramos, como una cadena de transmisión sometida a peso propio.

Sistema de protección:

La protección se da por la cubierta que va por debajo del entramado de madera. Todos los elementos de la baranda se deterioran fácilmente porque son de dimensiones pequeñas y por su diseño están muy expuestos.



### 2.- PUENTE PEATONAL SOBRE EL SIMME, Wimmis, Suiza.

**Año** : 1989  
**Largo total** : 108 m  
**Luz libre** : 27 + 54 + 27 m.

Sistema estructural:

Compuesto de dos vigas reticuladas de madera laminada de 3,00 m de alto; y una techumbre de estructura de madera aserrada.

Sistema de protección:

Confiado a la cubierta de zinc-titanio y al revestimiento lateral a través de un entablado ventilado.







### 3.- PUENTE VEHICULAR SAN NICLA, Tschlin, Suiza.

**Año** : 1993  
**Largo** : 39 m.

Sistema estructural:

Dos arcos de madera laminada de sección variable y un sistema de vigas transversales de madera laminada con barras de acero como sistema desde el cual se suspenden estas vigas.

Sistema de protección:

La estructura de madera laminada esta recubierta lateralmente por tableros de madera y en la parte superior por planchas de cobre.



### 4.- PUENTE VEHICULAR VIHANTASALMI, Mäntyharju, Finlandia.

**Año** : 1999  
**Largo total** : 182 m.  
**Luz libre** : 21 + 42 + 42 + 42 + 21 m.

Sistema estructural:

Compuesto por estructuras de tipo atirantadas («King post») de madera laminada, dispuestas en las tres luces centrales del puente.

Sistema de protección:

Toda la estructura de madera laminada se encuentra recubierta por planchas de madera.



### 5.- PUENTE PEATONAL SOBRE EL NECKAR, Remseck, Alemania.

**Año** : 1988  
**Luz libre** : 80 m.  
**Ancho de paso** : 7,56 m

Sistema estructural:

Consiste en 3 vigas reticuladas de madera laminada unidas entre sí en los cordones inferiores y superiores formando una viga espacial.

Sistema de protección:

La protección se confía al revestimiento total de la estructura por paños vidriados.



## 6.- PUENTE VEHICULAR KLINTFORSAN, Klintfors, Suecia.

**Año** : 2000  
**Largo total** : 19,1  
**Luz libre** : 2 x 9,33 m.

Sistema estructural:  
 Placa de madera tensada con tres apoyos.

Sistema de protección:  
 La placa de madera es protegida, en la parte superior, por un capa asfáltica de 88 mm de espesor. Lateralmente no recibe ningún tipo de protección lo que afectará en la durabilidad de la placa tensada.



## 7.- PUENTE VEHICULAR BESTON, Beston, Noruega.

**Año** : 1999  
**Largo total** : 24 m.  
**Luz libre** : 24 m.

Sistema estructural:  
 Compuesto por un par de estructuras de tipo atirantadas («King post») de madera laminada y estructura transversal de acero.

Sistema de protección:  
 La estructura de madera laminada está doblemente impregnada, primero con CCA y luego con creosota de absorción reducida, pero no posee mayor protección a través del diseño.



## 8.- PUENTE VEHICULAR DALERASEN, Mjondalen, Noruega.

**Año** : 2001  
**Largo total** : 68,9 m.  
**Luz libre** : 32,6 + 27,4 m

Sistema estructural:  
 Dos pares de arcos de madera laminada con apoyo central, y una placa de madera tensada como plataforma de piso.

Sistema de protección:  
 La estructura de madera laminada está doblemente impregnada, primero con CCA y luego con creosota de absorción reducida, y



se encuentran solo protegidas las caras superiores de la estructura. La placa lleva un impermeabilizante y un entablado superior.



### 9.- PUENTE VEHICULAR KJOREM, Kvam, Noruega.

**Año** : 2000  
**Largo total** : 26 m  
**Luz libre** : 8 + 10 + 8 m.

Sistema estructural:  
 Placa de madera tensada con tres apoyos.

Sistema de protección:  
 La estructura de madera laminada está doblemente impregnada, primero con CCA y luego con creosota de absorción reducida.



### 10.- PUENTE VEHICULAR MATTISDAMMEN, Nord-Odal, Noruega.

**Año** : 2000  
**Largo total** : 7,2 m.  
**Luz libre** : 7,2 m.

Sistema estructural:  
 Placa de madera tensada simplemente apoyada, compuesta de piezas de madera laminada.

Sistema de protección:  
 Toda la estructura de madera está impregnada con creosota, la protección superior se encuentra confiada al pavimento asfáltico. Lateralmente no lleva ningún tipo de protección.



### 11.- PUENTE VEHICULAR TYNSET, Tynset, Noruega.

**Año** : 2001  
**Largo total** : 124 m.  
**Luz libre** : 2 x 27 m + 70 m

Sistema estructural:  
 Luces menores: dos pares de arcos triarticulados. Luz principal: compuesta de un par de arcos reticulados triarticulados.

Sistema de protección:



La estructura de madera laminada, a excepción de la placa de madera, se encuentra doblemente impregnada, primero con CCA y luego con creosota. Además las caras superiores de las piezas principales llevan una chapa de cobre como protección.

## 12.- PUENTE VEHICULAR EVENSTAD, Stor-Elvdal, Noruega.

**Año** : 1996  
**Largo total** : 180 m  
**Luz libre** : 5 x 36 m.

Sistema estructural:  
 5 pares de vigas reticuladas simplemente apoyadas de cordones superiores curvos.

Sistema de protección:  
 La estructura de madera laminada se encuentra impregnada con creosota y protegida con un recubrimiento de cobre superior.



## 13.- PUENTE PEATONAL OS, Os, Noruega.

**Año** : 1996  
**Largo total** : 80 m.  
**Luz libre** : 2 x 40 m.

Sistema estructural:  
 Dos vigas reticuladas de madera laminada inclinadas, conectadas entre sí por el cordón superior y con la placa de madera tensada, por los cordones inferiores.

Sistema de protección:  
 Los cordones inferiores están doblemente impregnados con CCA y creosota, el resto de la madera esta impregnada con creosota. Además la estructura está cubierta con un entablado horizontal abierto y por una techumbre lateral (aleros).



## 14.- PUENTE VEHICULAR EUROPA, St. Georgen, Austria.

**Año** : 1993  
**Largo total** : 85 m.  
**Luz libre** : 20 + 45 + 20 m

Sistema estructural:  
 4 arcos parabólicos triarticulados de 45 m de luz soportan la



plataforma de circulación compuesta de elementos de hormigón pretensados prefabricados.

Sistema de protección:

La madera utilizada es alerce europeo, la cual es más resistente. Además los arcos se encuentran bajo la plataforma de piso, lo que ayuda en la protección.



### 15.- PUENTE PEATONAL BADTÖBLI, Suiza.

**Año** : 1991

**Largo total** : 45 m

Sistema estructural:

Compuesto de vigas reticuladas inclinadas afianzadas en la parte superior por una viga de madera laminada que hace de cumbrera, hacia los costados de esta viga se forman retículas que hacen de estructura para la techumbre. Se armó en 4 partes principales.

Sistema de protección:

La cubierta e inclinación de las vigas laterales cumplen un papel fundamental en la protección del puente. Además estas vigas llevan un revestimiento de entablado lateral.



### 16.- PUENTE PEATONAL CICLO VÍA TRATT, Suiza.

**Año** : 1992

**Luz libre** : 38 m.

**Ancho de paso** : 3 m.

Sistema estructural:

Dos arcos inclinados de madera laminada de sección variable, con 32,5 m de luz; y un sistema de vigas transversales de madera laminada suspendidas por barras de acero que bajan desde los arcos.

Sistema de protección:

Los arcos y las vigas transversales de madera se encuentran totalmente revestidos por un entablado y protegidos a través de un recubrimiento superior de acero.



## 17.- PUENTE VEHICULAR CUMPOGNA, Tiefencastel, Suiza.

**Año** : 1999  
**Largo total** : 30 m.  
**Ancho de paso** : 4,5 m

Sistema estructural:

Compuesto de dos arcos dobles en los extremos y tres arcos en el centro, de una luz de 20 m cada uno; estos soportan una placa de madera tensada.

Sistema de protección:

La madera utilizada en los arcos es alerce europeo, la cual es más resistente. Además los arcos se encuentran bajo la plataforma de piso, quedando parcialmente protegidos.



## 18.- PUENTE DE GRUBENMANN, Herisauer Tobel, Suiza.

**Año** : 1778  
**Largo total** : 32 m  
**Luz libre** : 30 m  
**Ancho de paso** : 2,36 m

Sistema estructural:

Estructura de entramado de madera con un arco constituido por partes, repartidas en 5 tramos separados por grandes pilares de 40 X 40 cm.

Sistema de protección:

La cubierta y revestimientos laterales han servido como protección del puente.



## 19.- PUENTE PEATONAL LEONARDO DA VINCI, Noruega.

**Año** : 2001

Sistema estructural:

Compuesto de 3 arcos de madera laminada en bloque de sección variable, y una plataforma de piso compuesta por una placa tensada de madera laminada.

Sistema de protección:

Todas las madera se encuentran impregnadas; la protección es confiada a este tipo de tratamiento y no precisamente al diseño.



Esta es un estructura desnuda que su única cualidad favorable, desde el punto de vista de la protección por diseño, es la gran escuadría de las piezas.



## 20.- PUENTE PEATONAL LOWENTOR, Stuttgart, Alemania

<b>Año</b>	: 1994
<b>Largo total</b>	: 20 m.
<b>Ancho de paso</b>	: 3,65 m

Sistema estructural:

Compuesto de 2 vigas en bloque de madera laminada de 1,20 m x 0,63 m aproximadamente.

Sistema de protección:

La madera laminada de las vigas es protegida a través de una cubierta dispuesta sobre ellas y con pendiente transversal. Lateralmente no lleva ningún tipo de revestimiento.



## 21.- PUENTE PEATONAL SINGEN, Alemania

<b>Año</b>	: 2000
<b>Largo total</b>	: 43,5 m
<b>Luz libre</b>	: 9,4 + 28,2 + 5,87 m.
<b>Ancho de paso</b>	: 1,85 m

Sistema estructural:

Compuesto de vigas reticuladas divididas en 3 tramos. El sistema de apoyos (marco invertido) y de arriostramiento (diagonales) lo componen estructuras de acero.

Sistema de protección:

La cubierta y revestimientos laterales ayudan en la protección del puente; además de cada detalle, como por ejemplo: bajadas de agua, entablados ventilados etc.



## 22.- PUENTE PEATONAL KAPELL, Lucerna, Suiza.

<b>Año</b>	: 1333
<b>Largo total</b>	: Inicialmente 285 m, actualmente tiene 204 m.
<b>Luz libre</b>	: promedio de 7,65 m y la máxima es de 13,5 m

Sistema estructural:

Consiste en pilotes de madera de roble y vigas transversales también de roble que conectan los pilotes y soportan las 26 luces



de la estructura.

Sistema de Protección:

La protección y durabilidad de este puente se genera gracias a la techumbre y el tipo de madera utilizado. Este puente ha sido reconstruido en dos oportunidades.

### 23.- PUENTE EN VADUZ, Suiza.

<b>Año</b>	: 1866
<b>Largo</b>	: 135,4
<b>Luz libre</b>	: 2 x 26,6 m + 4 x 20,35 m.
<b>Ancho de paso</b>	: 5,8 m



Sistema estructural:

Sistema de entramado Howe, las diagonales de madera están afianzadas por barras de acero verticales.

Sistema de protección:

La durabilidad de este puente se genera por su cubierta y su revestimiento de entablado creándose un interior protegido.

### 24.- PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RHIN, Gailingen y Diessenhofen, frontera entre Alemania y Suiza.

<b>Año</b>	: 1814 - 1818
<b>Largo total</b>	: 83 m aproximadamente.



Sistema estructural:

Entramado de madera repartido en 5 tramos, cuyos apoyos centrales son de madera.

Sistema de protección:

La cubierta y revestimiento total del puente son los factores que han cooperado en la durabilidad de éste.

### 25.- PUENTE VEHICULAR VAL TGIPLAT, Suiza.

<b>Año</b>	: 1998
<b>Largo total</b>	: 26 y 36 m.
<b>Ancho de paso</b>	: 7,60 m



Sistema estructural:

Sistema de vigas de madera laminada apuntaladas dispuestas sucesivamente. La luz de cada una de ellas es variable debido a que las líneas de apoyos no son paralelas entre sí.



Sistema de protección:

La estructura queda protegida por el pavimento asfáltico y por el revestimiento lateral de madera. Se diseñó cada detalle para lograr una efectiva protección de esta.



## 26.- PUENTE VEHICULAR PRADELLA SOBRE EL INN, Suiza.

<b>Año</b>	: 1991
<b>Largo</b>	: 85 m
<b>Luz libre</b>	: 21,5 + 42 + 21,5 m
<b>Ancho de paso</b>	: 4,50 m

Sistema estructural:

Compuesto de 4 vigas de madera laminada dispuestas en 3 tramos, dos tramos en los extremos generando un voladizo donde se apoya el tramo central.

Sistema de protección:

La protección se confía al pavimento asfáltico y a un entablado lateral ventilado, quedando la estructura principal totalmente oculta.



## 27.- PUENTE VEHICULAR STRABEN, Andelfingen, Suiza.

<b>Año</b>	: 1992
<b>Largo</b>	: 108 m.
<b>Luz libre</b>	: 2 x 29 m + 2 x 22 m.
<b>Ancho de paso</b>	: vehicular = 4,10 m, y peatonal = 1,70 m

Sistema estructural:

Compuesto de dos vigas reticuladas de madera laminada.

Sistema de protección:

La protección se confía a la techumbre y al revestimiento de entablado lateral.



## 28.- PUENTE VEHICULAR SUR EN, Suiza.

Sistema estructural:

Compuesta por 4 vigas de madera laminada tensadas por un sistema de cables que trabaja a la tracción.

Sistema de protección:

Las vigas quedan protegidas por el pavimento asfáltico superior ,



pero los pendolones de madera quedan demasiado expuestos a la intemperie.

## 29.- PUENTE VEHICULAR SAGASTÄG, Suiza.

**Año** : 1991  
**Luz libre** : 37,5 m.  
**Ancho de paso** : 3,60 m.



Sistema estructural:

Compuesto por dos pares de vigas de madera laminada apuntaladas por tres elementos que nacen del cimiento dispuestos en V.

Sistema de protección:

La estructura, desde arriba, queda completamente cubierta por el pavimento asfáltico y lateralmente por un entablado horizontal abierto permitiendo la ventilación de las piezas estructurales.

## 30.- PUENTE PEATONAL SOBRE LA N 13, Suiza.

**Año** : 1991  
**Largo total** : 103 m  
**Luz libre** : Luces principales 3 x 30 m, los extremos se suman en 6,5 m c/u.

Sistema estructural:

Compuesto de vigas con dos apoyos centrales. Estas vigas están divididas en un par de vigas centrales con dos voladizos (42,4 m), y dos pares de vigas en los extremos (22,4 m y 22,9 m) que se apoyan en las centrales.

Sistema de protección:

La cubierta y el revestimiento exterior generan un interior cerrado por lo que la estructura de madera laminada se encuentra completamente protegida.



## 31.- PUENTE PEATONAL SOBRE UNA GOLA DE MAR, Isla Cristina, Huelva, España.

**Año** : 2003  
**Largo total** : 200 m  
**Luz libre** : Luces a ejes de las torres igual a 10 m.

Sistema estructural:

Sistema modular con torres de altura variable constituidas por tres pórticos con vuelos con tornapuntas alcanzando una longitud de



5 m. Vigas biapoyadas entre torres con longitud igual a 5 m. Toda la madera es maciza de pino silvestre.

Sistema de protección:

La madera está tratada en autoclave con sales de CCA, para una clase de riesgo 5 y los herrajes son de acero inoxidable. El diseño de las uniones y encuentros procura evitar la retención del agua.



### 32.- PUENTE PEATONAL EN EL PARQUE DEL LITORAL, Barcelona, España.

**Año** : 1991  
**Largo total** : 56 m  
**Luz libre** : Dos vanos de 28 m

Sistema estructural:

Vigas cajón en celosía de tipo Warren sin techo. Son dos vigas biapoyadas con una pila central. La anchura libre de circulación es de 4,3 m.

Sistema de protección:

La madera está tratada en autoclave con sales de CCA. Se ha utilizado pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) para la estructura, iroko (*Chlorophora excelsa – regia*) para la superficie de rodadura y Cedro rojo del Pacífico (*Thuja plicata* D. Don) para los cierres laterales.



### 33.- PUENTE PEATONAL SOBRE EL RÍO TORIO, León, España.

**Año** : 2003  
**Largo total** : 66,50 m  
**Luz libre** : Luces principales 12,75, 41 y 12,75 m.

Sistema estructural:

Dos vigas en diamante en voladizo con un tramo central isostático biapoyado en las vigas voladas. Las vigas en diamante están formadas por elementos de madera laminada encolada de tipo boomerang atirantadas mediante una banda tesa en el plano central. Ancho libre de 3,20 m y ancho total 3,60 m.

Sistema de protección:

Madera de pino silvestre tratada con sales hidrosolubles en autoclave. Disposición de baberos metálicos sobre las caras superiores de las piezas y dispositivos de recogida de agua en los ángulos entrantes.



### 34.- PUENTE PEATONAL SOBRE LA RÍA DE FERROL, Narón, La Coruña, España.

**Año** : 2003  
**Largo total** : 90,28 m  
**Luz libre** : 2 vanos de 45 m.

Sistema estructural:

Arco central atirantado por el tablero (bowstring). El tablero está constituido por un sistema mixto (madera, hormigón y acero). Ancho libre 4,50 m. Cubierta de tablero contrachapado y cinc en forma de paraboloide hiperbólico apoyado en las péndolas del arco.

Sistema de protección:

Madera de pino silvestre tratado con sales hidrosolubles en autoclave. Babero de chapa de cinc en parte superior de arco.



### 35.- PUENTE PEATONAL EN ST. PANTALEÓN, AUSTRIA.

**Año** : 2003  
**Largo total** : 87,80 m  
**Luz libre** : Dos vanos de 12,50 m, uno de 37,50 m y dos vanos de 12,50 m.  
**Anchura** : 2,50 m.

Sistema estructural:

Tablero suspendido construido con rollizos de madera de alerce y abeto, a partir de dos pilas de 13 m de altura.



### 36.- PUENTE PEATONAL SOBRE EL RÍO EO, A Pontenova, Lugo, España.

**Año** : 2000  
**Luz libre** : 40 m.  
**Ancho de paso**: 2 m.

Sistema estructural:

Tablero suspendido de dos arcos triarticulados con tirantes de acero inoxidable. Arriostramiento de los arcos y del tablero mediante cruces de San Andrés de acero inoxidable. En su parte inferior sirve de soporte para una tubería de saneamiento.

Sistema de protección:

Madera de pino silvestre en las piezas principales de la estructura tratada en autoclave con sales hidrosolubles. En la barandilla y en



la superficie de rodadura se ha utilizado madera de elondo (Erytrophleum ivorense). Para la protección de la parte superior de los arcos se protege con un entablado de madera maciza tratada en autoclave.



### 37.- PUENTE PEATONAL SOBRE EL CANAL DE CASTILLA, Valladolid, España.

**Año** : 2003  
**Luz libre** : 26 m.  
**Ancho de paso**: 6 m

Sistema estructural:

Tablero suspendido mediante tirantes de acero de una cercha simple. Los pares están formados por piezas dobles de madera laminada encolada. El tirante también de madera laminada trabaja a flexión y a tracción. El arriostramiento del tablero se realiza mediante cruces de San Andrés.

Sistema de protección:

La madera de pino silvestre que constituye los elementos principales de la estructura está tratada en autoclave con sales hidrosolubles. Para el entablado del piso se ha utilizado madera de elondo (Erytrophleum ivorense). Todos los elementos de madera tienen un acabado protector mediante un lasur de poro abierto.



### 38.- PUENTE PEATONAL, Socuéllamos, Ciudad Real, España.

**Año** : 2002  
**Luz libre** : 33 m  
**Ancho de paso**: 2 m

Sistema estructural:

Arco de muy reducida flecha. Tablero situado sobre las vigas riostras con tornapuntas que quedan colgadas de las piezas principales. Arriostramiento mediante cruces de San Andrés bajo el tablero, inmovilizando la parte superior de la sección del arco con las tornapuntas. Se fabricó en dos mitades por razones de transporte.

Sistema de protección:

Madera tratada con sales hidrosolubles y herrajes galvanizados en caliente.



### 39.- PUENTE PEATONAL SOBRE EL RÍO CIGÜELA, Arenas de San Juan, C.Real, España.

**Año** : 2003  
**Luz libre** : 30 m  
**Ancho de paso**: 1,5 m

#### Sistema estructural:

Arco biarticulado de sección variable en madera laminada encolada de pino silvestre. Tablero constituido por travesaños y viguetas secundarias que soportan la tablazón de piso. Arriostramiento mediante diagonales de madera aserrada.

#### Sistema de protección:

Madera de pino silvestre tratada en autoclave con sales hidrosolubles y acabado superficial con lasur a poro abierto.



### 40.- PUENTE PEATONAL SOBRE EL RÍO CIDACOS, Arnedo, La Rioja, España.

**Año** : 1999  
**Luz libre** : 36 m  
**Ancho de paso**: 1,65 m

#### Sistema estructural:

Sistema de tablero suspendido de un arco biarticulado de sección constante en madera laminada encolada. La flecha del arco es de 4,42 m. El tablero se encuentra suspendido del arco mediante tirantes de acero inoxidable. Está constituido por travesaños que soportan la tablazón de piso. Arriostramiento mediante diagonales de madera.

#### Sistema de protección:

Madera de conífera tratada en autoclave.

