

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 arrioestre. 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 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 m (dos vías) más una calzada de 1.5 m para peatones. Se compone de vigas curvas (arcos) de madera laminada, de 400x950 mm de sección transversal. De estas vigas cuelgan elementos metálicos de sección H 250x250, 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.

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

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/m³

Hormigón armado	:	2.500	kg/m ³
Barandas	:	150	kg/ml
Carpeta de asfalto	:	1.500	kg/m ³
Perfiles metálicos	:	7580	kg/m ³ .

b) Sobrecargas

De uso en veredas	:	415	kg/m ²
Camión HS 20-44	:	36.500	kg

c) Viento

La presión básica utilizada es de 69 kg/m² para vientos de 120 km/hr, 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 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_h). 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

6.3.3

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) $1.0 \text{ PP} + 1.0 \text{ SC} + 1.0 \text{ CAi} + 1.0 \text{ VT}$

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

- 6) $1.4 \text{ PP} + 1.7 \text{ SC}$
- 7) $1.4 \text{ PP} + 1.7 \text{ SC} + 1.7 \text{ CAi}$
- 8) $1.4 \text{ PP} + 1.4 \text{ SC} + 1.4 \text{ CAi} + 1.4 \text{ SX}$
- 9) $1.4 \text{ PP} + 1.4 \text{ SC} + 1.4 \text{ CAi} + 1.4 \text{ SZ}$
- 10) $1.4 \text{ PP} + 1.4 \text{ SC} + 1.4 \text{ CAi} + 1.4 \text{ VY}$
- 11) $0.9 \text{ PP} + 1.4 \text{ SX}$
- 12) $0.9 \text{ PP} + 1.4 \text{ SZ}$
- 13) $0.9 \text{ PP} + 1.4 \text{ VT}$

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, trechos 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 Advanse**, 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 puente, 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 kg/cm². 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°).
- Soportes continuos sobre el ancho del tablero, distanciados a no más de 10 m.
- 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.

- Cargas de vehículos según Manual de Carreteras, camión HS 20-44 + 20%, figura 6.4.

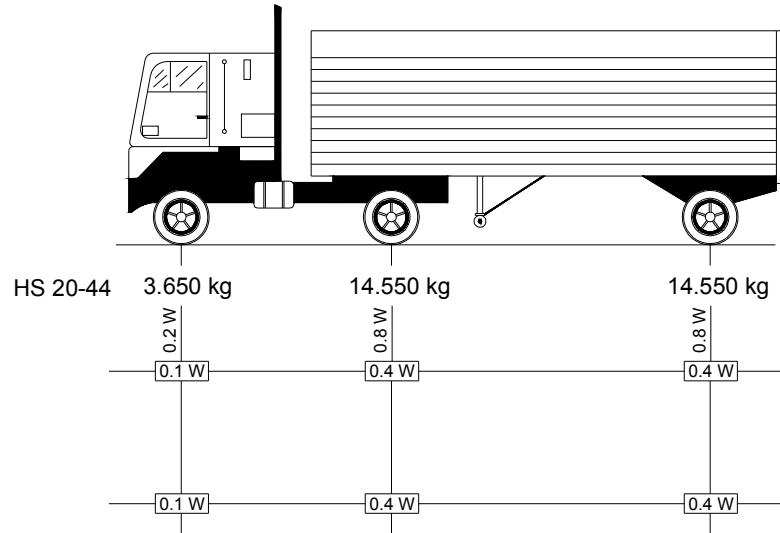


Figura 6.4 Camión HS 20-44.

- 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).
- 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)
$L \leq 10.0$	10
$10.0 \leq L \leq 20.0$	12
$20.0 \leq L \leq 30.0$	14
$30.0 \leq L$	16

Tabla 6.1 Estimación previa del espesor de la placa.

El ancho de la distribución transversal de cargas se determina como, 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)

d : Grosor de la placa (in)

C_b : Factor de conexión de tope.

$$C_b = \frac{j}{1+j}; j: \text{Número de láminas entre dos conexiones de tope consecutivos.}$$

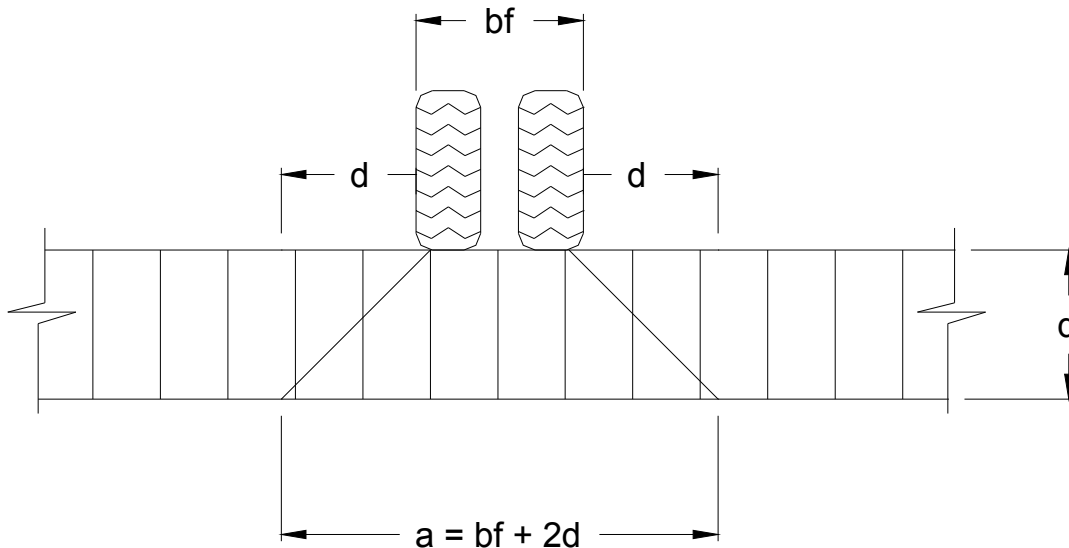


Figura 6.5 Ancho de la distribución transversal de las cargas concentradas.

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.

$$M_T = M_{II} + M_{dI}$$

donde:

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

M_{II} : 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:

$$\delta_{ll} = \frac{M_T \cdot L^2}{12 \cdot E_L \cdot I} \leq \frac{L}{500} \quad d \geq \sqrt[3]{\frac{500 \cdot M_T \cdot L}{E_L \cdot 1.15 \cdot D}} \quad I = \frac{1.15 \cdot D \cdot d^3}{12}$$

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 (in⁴)
 M_T : Momento máximo (lb – in)
 L : Envergadura efectiva (in)
 E'_L : Módulo de elasticidad (lb/in²)

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: $\partial_{cf} = 3 \cdot \partial_{dl}$

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/in²)

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 siguiente expresión,

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/in²)

I) 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, (in²).
 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/in²).

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/in²).
 f_s : Tensión admisible de los elementos de tensión del punto (lb/in²).

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

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 de distribución (in).

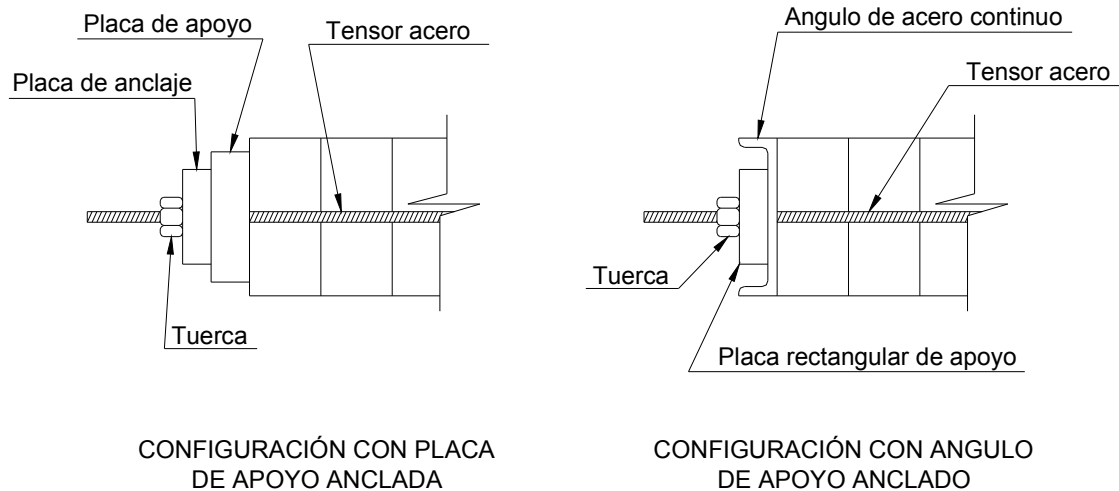


Figura 6.6 Soluciones para el anclaje.

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 =	157.5 (in) (4 m)	$F_B =$ 1,066.5 (lb/in ²) (75 kg/cm ²)
Longitud total =	787.4 (in) (20 m)	$E_L =$ 1279800 (lb/in ²) (90.000 „)
Ancho tablero =	413.4 (in) (10,5 m)	$F_{cp} =$ 355.5 (lb/in ²) (25 „)
Carga máxima =	31944 (Lb) (14.489 kg)	$d =$ 12.00 (in) (30,4 cm)
		Madera: 1 1: Cepillada 2: Aserrada

Ancho de distribución de cargas:

$D =$	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) (3,98 cm)	OK!!!
Espesor requerido: $d >$	11.0 (in) (27,94 cm)	
$I =$	6923.3 (in ⁴) (400.552 cm ⁴)	

Contraflecha:

$I =$	6020.30 (in ⁴) (250.583 cm ⁴)
$\delta_{ct} =$	0.01 (in) (0,025 cm)
Contraflecha $\delta_{ct} =$	0.04 (in) (0,10 cm)

6.6 Arcos de madera laminada

En el anexo D “Bases de cálculo de estructuras de madera laminada encolada según la norma Chilena NCh 1198”, se describe el procedimiento de cálculo de las piezas de madera laminada encolada de acuerdo con la normativa chilena.

6.7 Acero Estructural

6.7.1 General

Se refiere a las vigas de acero a ser utilizadas tanto para las vigas transversales de soporte de la placa tensada como para los tensores verticales que sostienen estas vigas y en algunos casos forman el marco rígido que transmite las cargas horizontales de sismo y viento del arco a la placa tensada. Todo el acero estructural será calidad A 42-27 ES, según la designación de la Norma Chilena NCh 427.

6.7.2 Método de diseño

El método de diseño empleado para dimensionar los elementos metálicos es el método elástico o de Tensiones Admisibles, según lo indicado en la Norma Chilena NCh 427.

6.8 Estabilidad

Debido a que en este tipo de estructuras no se pueden arriostrar los arcos de madera laminada entre sí, ya que no se respetaría el gálibo mínimo exigido por el Departamento de Puentes de la Dirección de Vialidad de Chile (5.00 m), es que se diseña un sistema de uniones rígido (uniones de momento) entre los elementos horizontales y los verticales. De esta manera se conforma un marco rígido invertido, tal como se muestra en la figura 6.7.

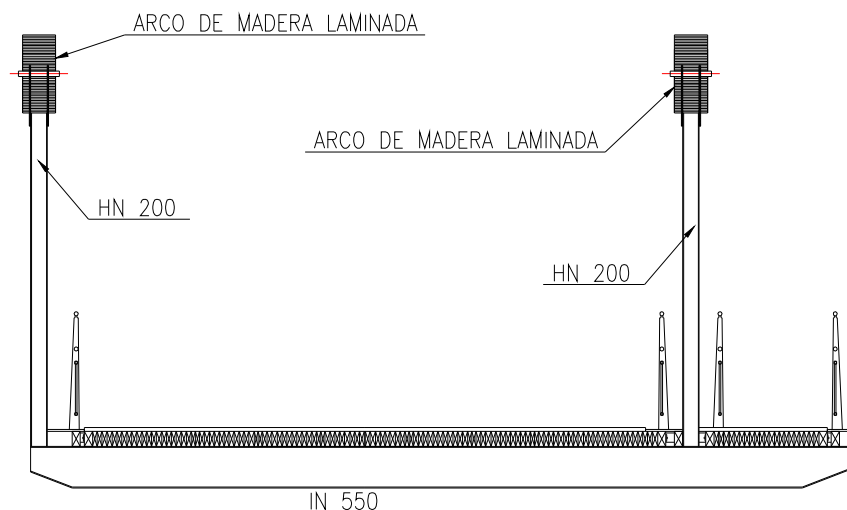


Figura 6.7 Marco rígido formado por los elementos de cuelgue y las vigas transversales.

6.9 Cimentación

6.9.1 General

Esta sección se refiere a las fundaciones de puente, las que son construidas generalmente en hormigón armado, calidad H-30, con un 90% de nivel de confianza. El acero de refuerzo será calidad A 63-42 H. El método de diseño de las fundaciones está dado por el Código de diseño de hormigón armado, basado en el ACI 318-2002.

6.10 Uniones

6.10.1 General

Todos los pernos considerados en el diseño, tanto para las uniones entre elementos de madera laminada como para las uniones de elementos metálicos, serán calidad A 42-23, con una resistencia admisible a la tracción $F_t = 1380 \text{ kg/cm}^2$. El diseño de las uniones en la madera se realiza según el Manual de cálculo de construcciones en madera del Instituto Forestal, la Norma Chilena de construcciones en madera, NCh 1198, y el documento "*Joints, Connections and Substructures for Timber Bridges*", Universidad de Tecnología de Helsinki, Noruega.

6.10.2 Detalles de las uniones

En este apartado se incluyen los planos de detalle que definen las uniones y encuentros de los elementos estructurales del puente.

La figura 6.8 corresponde a la unión entre los arcos, en el centro de la luz del puente, donde además se considera la conexión de colgadores que sostienen las vigas horizontales. Tanto el sistema de sujeción de los colgadores como el de los arcos se soluciona por medio de placas metálicas insertas dentro de la madera laminada. Además, todos estos elementos se conectan entre sí por medio de un pasador, de manera de rotular la conexión entre los arcos.

La figura 6.9 define la unión en rótula del apoyo del arco sobre el estribo de hormigón armado. Una placa metálica insertada en la pieza de madera se conecta mediante pernos.

La figura 6.10 corresponde a la unión de los colgadores de acero con el arco de madera laminada, en cualquier punto que no sea en centro de la luz del puente. Esta conexión, al igual que la anterior, se materializa por medio de placas metálicas soldadas al perfil metálico, e insertas en la madera laminada, y unidas por medio de pernos con esta última.

La figura 6.11 describe el encuentro de la barandilla y de los colgadores con la viga transversal.

La figura 6.12 corresponde a la planta y alzado de las placas tensadas así como al arriostramiento de los arcos en la parte elevada.

Figura 6.8 Detalle del encuentro en la clave del arco.

Figura 6.9 Detalle del apoyo del arco.

Figura 6.10 Detalle del cuelgue de los tirantes metálicos desde el arco.

Figura 6.11 Detalle del encuentro de la barandilla y de los colgadores con las vigas transversales.

Figura 6.12 Planta y alzado de las placas tensadas y del sistema de arriostramiento de los arcos en la parte superior.

Bibliografía

Hormigón Armado, Jimenez – Montoya.

Manual de Diseño de Madera Laminada, INFOR.

Diseño de estructuras de acero, Manual CINTAC 1993.

American Institute of Steel Construction, AISC.

Código de diseño de hormigón armado, basado en el ACI 318 – 2002.

Normativa

Norma Chilena NCh 1537 "Diseño Estructural de Edificios, Cargas permanentes y sobrecargas de uso".

Standard Specifications for Highway Bridges, AASHTO, fifteenth edition, 1992.

Manual de carreteras, volumen 3, capítulo 3.100, Junio del 2002.

Norma Chilena NCh 433 Of 96, "Diseño Sísmico de edificios".

Norma Chilena NCh 432 Of 72, "Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones".

Norma Chilena NCh 428 Of 57, "Ejecución de construcciones de acero".

Norma Chilena NCh 429 Of 57, "Hormigón armado, parte 1".

Norma Chilena NCh 430 Of 51, "Hormigón armado, parte 2".

Norma NCh 1198 Of 96. "Diseño de Construcciones en madera".

Código de diseño de hormigón armado, basado en el ACI 318 – 2002.

Juan Marcus Sch.
Ingeniero Civil