

PUENTES MODULARES PREFABRICADOS CON VIGAS WARREN EN MADERA PRESERVADA AL VACÍO Y PRESIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Por restricción presupuestaria, la Dirección de Vialidad no puede hacerse cargo de toda la demanda por mejor conectividad en las zonas más apartadas de Chile, cuya orografía y demografía destinan a miles de personas a una condición natural de baja densidad y aislamiento, para lo cual los puentes de madera han sido una solución. Sin embargo, su diseño, tecnología constructiva y métodos de conservación no responden a criterios modernos, con limitantes de capacidad, durabilidad, servicialidad y altos costos de mantenimiento.

Frente al desafío impuesto por el escenario actual, el Director de Vialidad de la Región de La Araucanía, en junio del 2016, siguiendo el mandato del Director Nacional de Vialidad de innovar en la materia, con el fin de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y poder atender las necesidades de las comunidades apartadas de modo más diligente, equitativo y sostenible, instruyó al Área de Puentes para trabajar en un proyecto cuyo objetivo era implementar soluciones más eficientes en la construcción y conservación de nuevos puentes de madera.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo general

- Mejorar e implementar técnicas de construcción y conservación, para lograr una mayor durabilidad y eficiencia técnico – económica en puentes de madera.

2.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un nuevo diseño de puentes de madera, aplicando técnicas modernas de construcción y conservación, que aseguren su

durabilidad, capacidad de carga y servicio.

- Implementar técnicas de preservación de madera estructural, que cumplan con normas y estándares de calidad, para la construcción de puentes.
- Implementar un nuevo diseño de puente de madera, que sea más eficiente técnica y económicamente que las soluciones tradicionales.

3. IMPORTANCIA DE LA PRESERVACIÓN

En el análisis económico de las distintas alternativas un factor clave es la durabilidad de la estructura una vez que ésta se haya puesto en servicio. Tomando en cuenta la realidad actual de las maderas disponibles, con alto porcentaje de albura por sobre el duramen, los puentes de madera sin preservación tienden a lograr una vida útil del orden de los 5 a 7 años. Por otra parte, resulta irrefutable la evidencia en la región de Aysén, donde las maderas impregnadas con creosota han demostrado una durabilidad que ya está por sobre los 20 años, lo cual es al menos 3 veces más que la

vida útil de las maderas sin preservación. Estos resultados son congruentes con lo establecido en normas internacionales de calidad de materiales de construcción para obras civiles (ASTM, AWWA, BSI, AASHTO). La gráfica siguiente muestra, en un período de 25 años, la diferencia en el costo de construcción y conservación entre un puente construido con madera sin preservación y con preservación al vacío y presión considerando vidas útiles de 5 y 25 años, respectivamente.

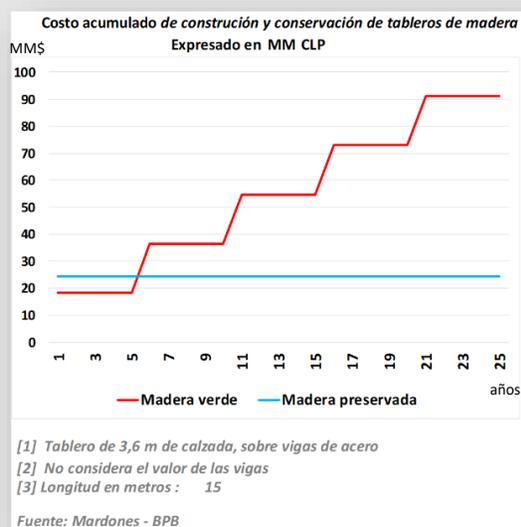


Gráfico1: Costo comparado

Se genera una curva tipo escalón donde cada escalón refleja el momento en que se debe reponer el puente por completo. En el último año, el ahorro alcanzado usando madera preservada equivale a un 276%.

4. ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

Actualmente el proyecto se encuentra en su fase constructiva con dos primeras estructuras de largos nominales de 20 m y 10 m, llamados puente Huapi y Allipén, respectivamente, ambos ubicados en la comuna de Saavedra, Región de la Araucanía. Más precisamente, el puente Huapi se encuentra en el kilómetro 16 de la ruta S-402 y el puente Allipén en el kilómetro 31 de la ruta S-46.

5. OTROS PROYECTOS EN DESARROLLO

Debido a sus características (mayor capacidad de carga, mayor ancho, tráfico bi-direccional, perfección geométrica, bajo peso propio, rapidez, facilidad y costo de armado) este diseño se ha incluido en otros proyectos de puentes semi-definitivos, tales como:

- PUENTE HULLINCO – 25 m, PROYECTO CAMINO MELIPEUCO ICALMA
- PUENTE BLANCO – 15 m, PROYECTO CAMINO MELIPEUCO ICALMA
- PUENTE FOLILCO – 20 m
- PUENTE RODON – 20 m

Recientemente se incorporó una modificación al diseño original que permitirá dar solución a luces inferiores, de hasta 10 m de luz libre, permitiendo el tráfico de vehículos pesados (camión AASHTO HS20-44). Dicha modificación está siendo considerada en el siguiente proyecto:

- PUENTE CUSPE – 7,5 m, MUNICIPALIDAD DE GORBEA

Ver más detalle en el punto 6 del presente documento.

De igual forma, en base a la misma tipología, se desarrolla el diseño de pasarelas peatonales o ciclovías que se encuentran descritas en el punto 7 de la presente ficha técnica.

MARDONES BPB CREOSOTE TREATERS S.A. (CHILE)

FECHA: 06-08-2019

FICHA TÉCNICA



EMPRESA PATROCINANTE:

Mardones BPB Creosote Treaters S.A.

Carlos Ferrada Cabrera
Ingeniero Civil Usach
Mardones BPB Creosote Treaters S.A.
Gerente de Ingeniería
bridge.engineering@mardonesbpb.cl

Eduardo Matus Fuentes
Ingeniero Civil Usach
Mardones BPB Creosote Treaters S.A.
Gerente Planta Prefabricado
proyectos@mardonesbpb.cl

PROYECTISTAS:

Ernesto Inostroza Peluchonneau
Ingeniero Civil UCh
EIP ingeniería Ltda
Proyectista

Javier Zúñiga Silva
Ingeniero Civil Usach
ZAC ingeniería
Proyectista

MANDANTE:

Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas

Área de Puentes de la IX Región

Participación: revisión y aprobación

Néstor San Martín Ulloa
Constructor Civil Uach
Revisor Área de Puentes

Carlos Riveras Jara
Ingeniero Civil UCh
Jefe Área de Puentes

Directores Regionales de la IX Región

Participación: aprobación

Manuel Robles Jimenez
Ingeniero Civil
Ex Director Regional

Rodrigo Toledo Gutiérrez
Constructor Civil
Director Regional

Directores Nacionales

Participación: toma de conocimiento del proyecto

Walter Brüning Maldonado
Ingeniero Civil
Ex Director Nacional Vialidad

Mario Anguita Medel
Ingeniero Civil
Director Nacional Vialidad

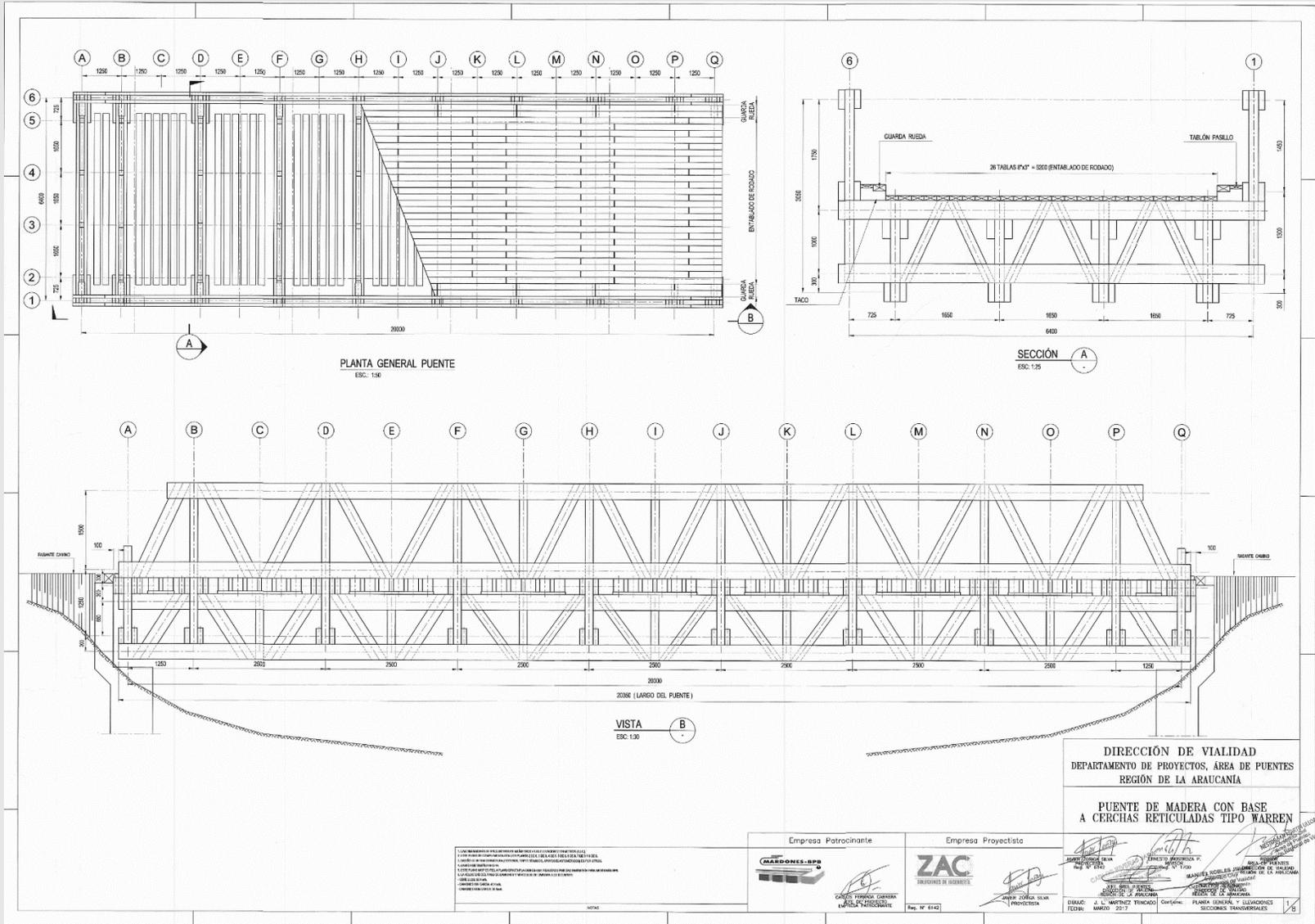
6. RESUMEN EJECUTIVO PROYECTOS HUAPI Y ALLIPÉN

PUENTE HUAPI	PUENTE ALLIPÉN
PUENTE MODULAR DISEÑO 20 m BI-DIRECCIONAL (vehículos livianos)	PUENTE MODULAR 10 m BI-DIRECCIONAL (vehículos livianos)
<p>Características técnicas generales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Longitud: 20 m. Ancho total: 6,75 m. Ancho calzada: 5,2 m. Ancho pasillo: 2 x 0,4 m. Conectores dentados disipadores de energía en todas las uniones. Madera de roble (<i>Nothofagus obliqua</i>) aserrada y preservada químicamente con creosota. Peso propio: 71,4 ton. Capacidad de carga: 24,5 ton sin cepa intermedia (HS15-44)/ 32.6 ton con cepa intermedia (HS20-44). 	<p>Características técnicas generales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Longitud: 10 m. Ancho total: 6,75 m. Ancho calzada: 5,2 m. Ancho pasillo: 2 x 0,4 m. Conectores dentados disipadores de energía en todas las uniones. Madera de roble (<i>Nothofagus obliqua</i>) aserrada y preservada químicamente con creosota. Peso propio: 36,9 ton. Capacidad de carga 32,6 ton (HS20-44).
Plazo de entrega referencial: 120 días*.	Plazo de entrega referencial: 90 días*.
Tiempo referencial de armado y montaje en terreno de: 4 semanas**.	Tiempo referencial de armado y montaje en terreno de: 3 semanas**.
<p>Bases técnicas utilizadas en el desarrollo del proyecto:</p> <ol style="list-style-type: none"> Manuales de diseño y construcción: <ul style="list-style-type: none"> Manual de Carreteras Vol. 4 Planos de Obras Tipo, Sección 4.603 Puentes de Madera, Planos 4.603.001, 4.603.002, 4.603.003 y 4.603.004, MOP 2015. Timber Bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance. Michael A. Ritter, United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington D.C. 	

<ul style="list-style-type: none"> Manual de Diseño, Construcción, Mantenimiento y Monitoreo de Tableros de Madera Tensado, Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, agosto 2011. Informe Técnico N° 182, 2a edición, Instituto Forestal, 2014.
<p>2. Normas:</p> <ul style="list-style-type: none"> NCh 1198:2014 Madera-Construcciones en Madera- Cálculo. NCh 174.Of85 Maderas-Unidades empleadas, dimensiones nominales, tolerancias y especificaciones. NCh 1190.Of86 Tensiones Admisibles para Madera Estructural. NCh 176/2.Of86 Madera - Parte 2: Determinación de la densidad. NCh 1989.Of86, modificada en, 1988 Maderas - Agrupamiento de Especies Madereras según su Resistencia – Procedimiento. American Association of Highway and Transportation Officials (AASHTO) 2002 17th Edition, Washington D.C.
<p>3. Materiales; estándares de calidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> Vigas/barandas, resistencias, tablero de rodado y pasillos: madera roble impregnada con creosota al vacío y presión de acuerdo a Especificación Técnica DV-AYSEN-001-1998. Todos los cortes y perforaciones se realizarán previo a la impregnación. Herrajes: acero estándar mínimo ASTM-A36 galvanizado en caliente.
<p>*Tiempo contempla: tiempo de abastecimiento de la madera, tiempo de secado y preservación, tiempo de dimensionamiento y perforación, tiempo de ensamblaje y tiempo de certificación de la estructura en su conjunto.</p>
<p>**Tiempo contempla: tiempo de transporte terrestre (sur de Chile), descarga, armado y montaje.</p>



6.1. PLANO GENERAL. DISEÑO APROBADO POR LA DIRECCIÓN DE VIALIDAD DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA



6.2. VISTAS ISOMÉTRICAS, LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE LOS PUENTES HUAPI Y ALLIPÉN

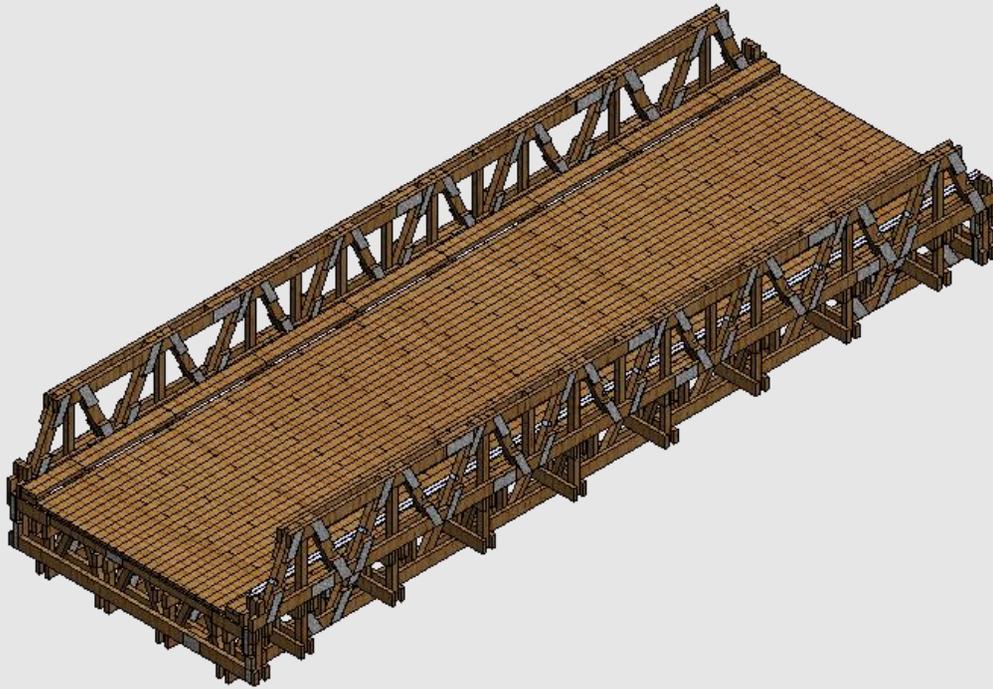


Imagen 1: Vista isométrica del puente Huapi (20 m).



Imagen 2: Vista isométrica del puente Allipén (10 m).



Imagen 3: Vista Longitudinal del puente Huapi (20 m).

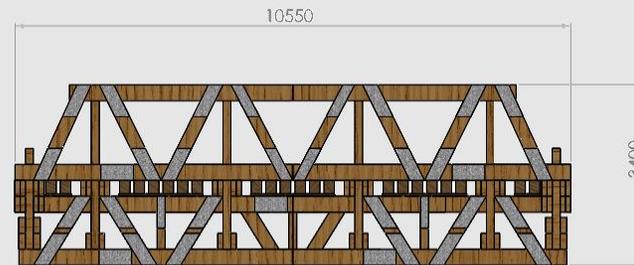


Imagen 4: Vista Longitudinal del puente Allipén (10 m).

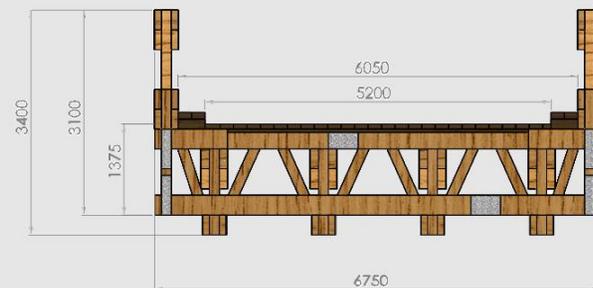


Imagen 5: Vista transversal de los puentes Huapi y Allipén.

6.3. FOTOGRAFÍAS DE LAS ETAPAS DE FABRICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE HUAPI



Imagen 6: Etapa de fabricación en planta.



Imagen 7: Ensamblaje del puente en planta.



Imagen 8: Transporte de vigas a la obra.



Imagen 9: Montaje de vigas en obra.

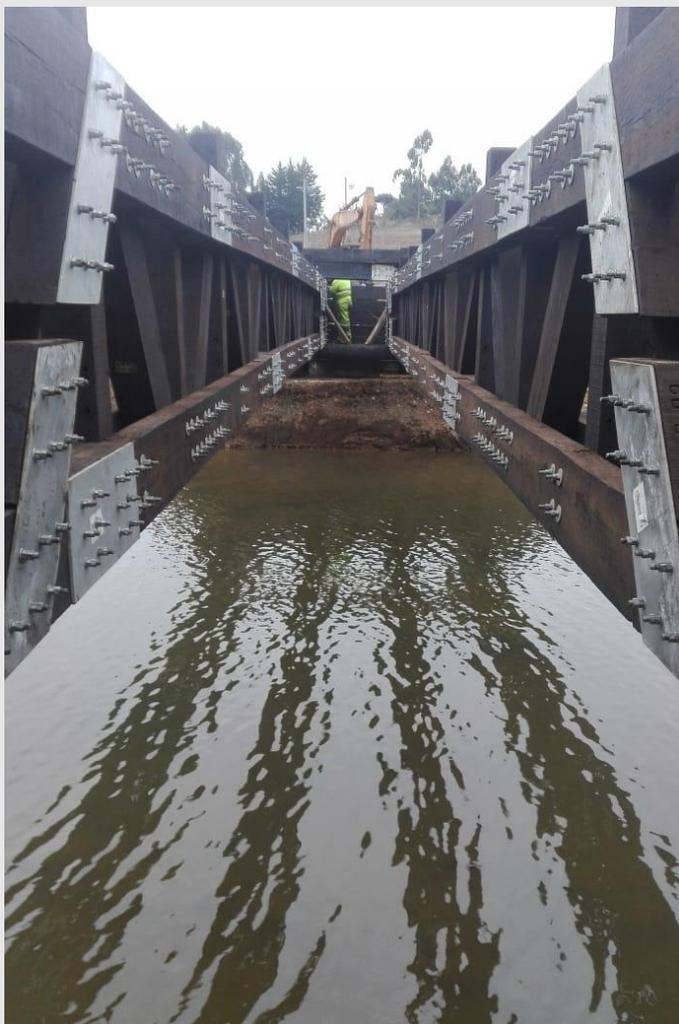


Imagen 10: Montaje de vigas en obra.



Imagen 11: Montaje de vigas en obra.



Imagen 12: Vista aérea del armado del puente en obra.



Imagen 13: Esqueleto estructural del puente armado en obra.



Imagen 14: Vista aérea esqueleto estructural del puente armado en obra.



Imagen 15: Vista aérea Puente Allipén terminado.



Imagen 16: Vista frontal Puente Allipén terminado.



7. PUENTE MODULAR 10 m UNIDIRECCIONAL

PUENTE MODULAR, DISEÑO BASE 10 m, UNIDIRECCIONAL

Características técnicas generales:

- Longitud nominal: 10 m.
- Ancho total: 5,1 m.
- Ancho calzada: 3,15 m.
- Ancho pasillo: 1,1 m.
- Conectores dentados disipadores de energía en todas las uniones.
- Madera de roble (*Nothofagus obliqua*) aserrada y preservada químicamente con creosota.
- Peso propio: 25,3 ton.
- Capacidad de carga 32,6 ton (camión AASHTO HS20-44).

Materiales; estándares de calidad

- Vigas/barandas, resistencias, tablero de rodado y pasillo: madera de roble impregnada con creosota al vacío y presión de acuerdo a Especificación Técnica DV-AYSEN-001-1998. Todos los cortes y perforaciones se realizarán previo a la impregnación.
- Herrajes: acero estándar mínimo ASTM-A36 galvanizado en caliente.

Plazo de entrega referencial:

60 días*.

Tiempo referencial para el armado y montaje en terreno:
2 semanas**.

**Tiempo contempla: tiempo de abastecimiento de la madera, tiempo de secado y preservación, tiempo de dimensionamiento y perforación, tiempo de ensamblaje y tiempo de certificación de la estructura en su conjunto.*

***Tiempo contempla: tiempo de transporte terrestre (sur de Chile), descarga, armado y montaje.*

7.1. VISTA ISOMÉTRICA, LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DEL PUENTE MODULAR 10 m UNIDIRECCIONAL

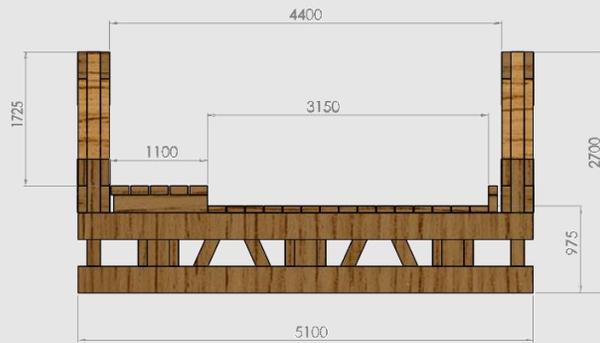


Imagen 17: Vista transversal puente 10 m unidireccional.

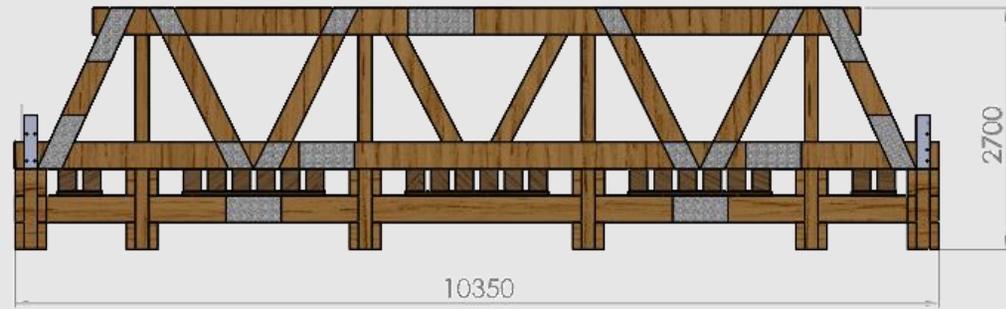


Imagen 18: Vista longitudinal puente 10 m unidireccional.



Imagen 19: Vista isométrica puente 10 m unidireccional.



8. PASARELAS PEATONALES / CICLOVÍAS

PASARELA PEATONAL MODULAR DE 20 m (módulos de 2,5 m).

Características técnicas generales:

- Tipo Pasarela: peatonal (diseño cumple estándar dado por Manual de Carreteras 2018 y Guide Specifications for Design of Pedestrian Bridges, de AASHTO).
- Largo (luz libre entre apoyos): 20 m.
- Ancho de calzada: 2,4 m.
- Ancho total: 3,12 m.
- Altura entre calzada y nivel superior de viga/baranda: 1,15 m.
- Conectores dentados disipadores de energía en todas las uniones.
- Madera de roble (*Nothofagus obliqua*) aserrada y tratada químicamente por preservada al vacío y presión con creosota.
- Peso propio: 26 ton.
- Capacidad de carga:
 - Peatones: 292 kg/m².
 - Vehículos 2 ruedas: 1,2 ton.
 - Vehículos 4 ruedas: 2,7 ton.

Materiales:

- Vigas/barandas y resistencias: madera roble impregnada con creosota al vacío y presión de acuerdo a Especificación Técnica DV-AYSEN-001-1998. Todos los cortes y perforaciones se realizarán previo a la impregnación.
- Tablero: Pino radiata grado 3 (NCh1207) impregnado con creosota (NCh819: 2012). Todos los cortes y perforaciones se realizarán previo a la impregnación.

- Herrajes: acero estándar mínimo ASTM-A36 galvanizado en caliente.

Plazo de entrega referencial pasarelas de 20 m completamente armadas:
60 días*.

Tiempo de montaje en terreno:
1 semana**.

**Tiempo contempla: tiempo de abastecimiento de madera, tiempo de secado y preservación, tiempo de dimensionamiento y perforación, tiempo de ensamblaje y tiempo de certificación de la estructura en su conjunto.*

***Tiempo contempla: tiempo de transporte terrestre (sur de Chile), descarga, armado y montaje.*

8.1. VISTAS ISOMÉTRICAS, LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE LA PASARELA PEATONAL DE 20 m



Imagen 20: Vista isométrica longitudinal pasarela peatonal de 20 m.

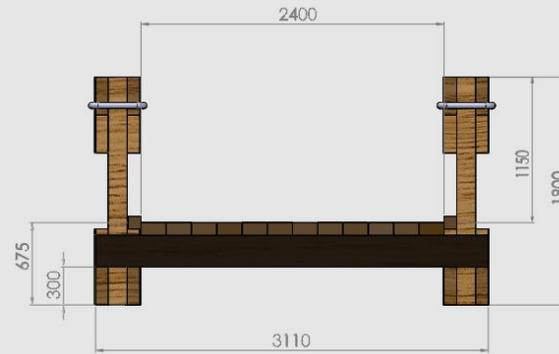
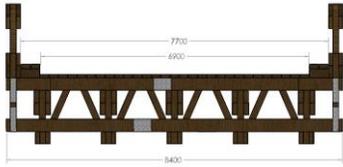
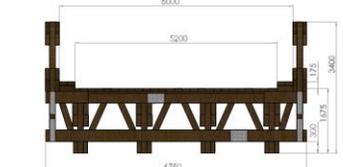
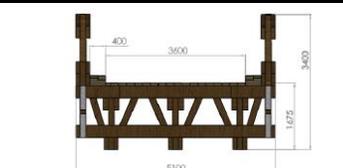
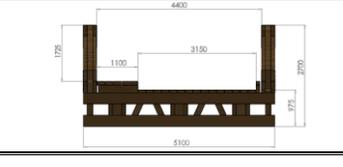
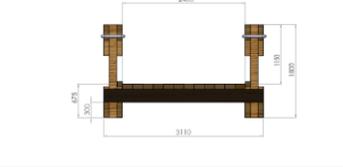


Imagen 21: Vista transversal pasarela peatonal de 20 m.



Imagen 22: Vista longitudinal pasarela peatonal de 20 m.

9. CATÁLOGO DE ESTRUCTURAS

TIPO ESTRUCTURA	PERFIL TRANSVERSAL	LONGITUD NOMINAL (m)	TIEMPO DE FABRICACIÓN (días)	TIEMPO DE ARMADO/MONTAJE (semanas)	PESO PROPIO (ton)	CAPACIDAD DE CARGA (ton)
PUENTE BI-DIRECCIONAL (sin restricción)		10	100	5	48	36,4
		7,5	90	4	40	
		5	80	3	32	
PUENTE BI-DIRECCIONAL (vehículos livianos)		20	120	5	71,4	24,5/36,4**
		17,5	110	5	62,8	24,5/36,4**
		15	100	4	54,2	24,5/36,4**
		12,5	90	4	45,6	36,4
		10	80	3	36,9	36,4
		7,5	70	3	28,3	36,4
		5	60	2	19,7	36,4
PUENTE UNI-DIRECCIONAL		20	100	4	65,5	24,5/36,4**
		17,5	90	4	58	24,5/36,4**
		15	80	3	50,7	24,5/36,4**
		12,5	70	3	43,2	36,4
PUENTE UNI-DIRECCIONAL		10	50	2	25,3	36,4
		7,5	40	2	19,6	
		5	40	1	13,9	
PASARELA PEATONAL/ CICLOVÍA		20	60	1*	26	Peatones: 292 kg/m2 Vehículos 2 ruedas: 1,2 ton Vehículos 4 ruedas: 2,7 ton
		17,5	50	1*	22,7	
		15	40	1*	19,4	
		12,5	40	1*	16,1	
		10	40	1*	12,8	
		7,5	40	1*	9,5	
		5	40	1*	6,2	

*solo montaje; **capacidad con cepa intermedia



10. TABLEROS MODULARES

TABLEROS MODULARES PARA PUENTES O PASARELAS SOBRE VIGAS METÁLICAS.

Características técnicas generales:

- Largo: de acuerdo a requerimiento.
- Ancho de calzada: 2,4 m; 3,6 m.
- Ancho total: 5,6 m; 4,0 m.
- Altura entre calzada y nivel superior de baranda: 1,175 m.
- Madera de roble (*Nothofagus obliqua*) aserrada y tratada químicamente por preservada al vacío y presión con creosota.
- Peso propio: 0,96 ton/metro lineal.
- Capacidad de carga: de acuerdo a diseño estructural.

Materiales:

- Madera de roble impregnada con creosota al vacío y presión de acuerdo a Especificación Técnica DV-AYSEN-001-1998. Todos los cortes y perforaciones se realizarán previo a la impregnación.
- Herrajes: acero estándar mínimo ASTM-A36 galvanizado en caliente.

Plazo de entrega referencial puente 20 m completamente armadas:
60 días.

Tiempo de montaje en terreno referencial puente 20 m:
21 días (3 semanas).

10.1. VISTAS TRANSVERSALES E ISOMÉTRICAS TABLEROS MODULARES PARA PUENTES O PASARELAS SOBRE VIGAS METÁLICAS



Imagen 23: Vista transversal tablero para puente sobre vigas metálicas - ancho de calzada 3,6 m

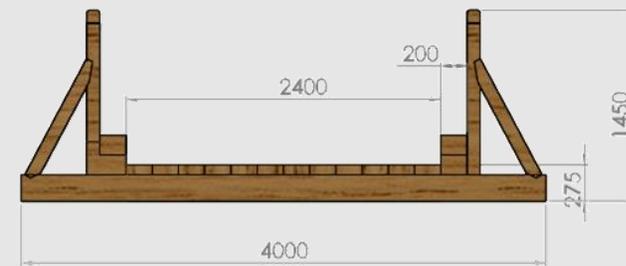


Imagen 24: Vista transversal tablero para pasarela peatonal sobre vigas metálicas- ancho de calzada 2,4 m.

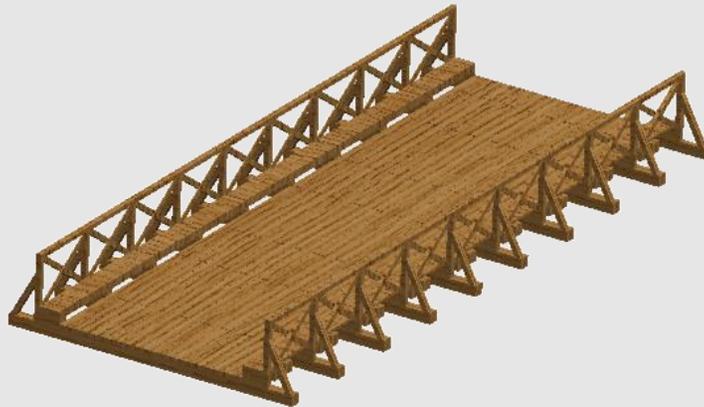


Imagen 25: Vista isométrica tablero para puente sobre vigas metálicas - ancho de calzada 3,6 m

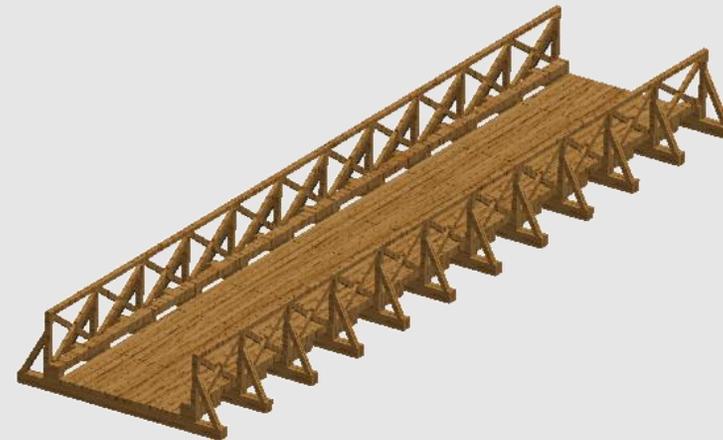


Imagen 26: Vista isométrica tablero para pasarela peatonal sobre vigas metálicas- ancho de calzada 2,4 m.