

Puente Metálico Desmontable – Una Alternativa Para La Construcción de Puentes Menores de Emergencia.

Detachable Metal Bridge – An Alternative for the Construction of Minor Emergency Bridges.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Frank Schanack ^{1,*}, Ricardo Pérez ², Juan Melín ², José Pablo Gacitúa ³, Ítalo Rivera ⁴.

¹Universidad Austral de Chile, Laboratorio de Ingeniería de Puentes y Estructuras, Valdivia, Chile.

²Dirección de Vialidad Región de La Araucanía, Departamento de Proyectos, Temuco, Chile.

³PONTINEL Spa, Valdivia, Chile.

⁴STRADALE Ingeniería de Proyectos & Asesorías Ltda, Santiago, Chile.

Historial del
artículo:

Recibido
14-11-2023
Aceptado
03-08-2024
Publicado
23-12-2024

Palabras Clave:
Puente Metálico
Puente Modular
Puente Mecano
Puente menor

Article history:

Received
14-11-2023
Accepted
03-08-2024
Available
23-12-2024

Keywords:
Metal Bridge
Modular Bridge
Meccano Bridge
Minor Bridge

Resumen

En 2020, la Dirección de Vialidad Región de la Araucanía solicitó y supervisó la elaboración del diseño de un puente metálico desmontable (consultoría SAFI: 325.137, ID: 2261-65-O120). Entre las especificaciones se definió que sea un puente modular, con una longitud mínima de 25,0 m, un ancho de 5 m, con un camión de diseño AASHTO HS25 y sin elementos individuales más grandes que 3,50 m ni con un peso superior a 2 t.

El diseño resultante fue un puente modular tipo paneles. Los paneles tienen un largo de 3,50 m y un alto de 2,00 m. Pueden ser combinados 3 a 8 módulos, logrando longitudes totales entre 10,50 m y 28,0 m. Los paneles se conectan entre sí mediante vigas transversales de 6,34 m. Sobre estas vigas se instalan módulos de piso, individualmente apertnados, de 3,50 m de largo y 1,00 m de ancho. Opcionalmente, se puede instalar un pasillo peatonal de 1,00 m de ancho.

Entre las principales ventajas se destacan el concepto de módulos, la facilidad de montaje y de mantenimiento y el no requerir expropiaciones para reemplazar puentes de madera. Como desventaja, se identifica no poder aprovechar ahorros de material que permiten diseños basados en ensayos de resistencia.

Finalmente se concluye que el diseño es el primer paso en un proceso de innovación, que debe continuar en función de la experiencia obtenida durante las etapas de construcción y operación y sumarse a las alternativas de la Dirección de Vialidad para puentes menores no definitivos.

Abstract

In 2020, the Departamento de Vialidad of the Araucanía Region requested and supervised the development of a design for a detachable metal bridge (consultancy SAFI: 325.137, ID: 2261-65-O120). Among the specifications, it was defined that the bridge should be modular, with a minimum length of 25.0 m, a width of 5 m, designed for an AASHTO HS25 truck, and without any individual elements larger than 3.50 m or heavier than 2 tons.

The resulting design was a modular panel-type bridge. The panels are 3.50 m long and 2.00 m high. They can be combined into 3 to 8 modules, achieving total lengths between 10.50 m and 28.0 m. The panels are connected to each other by transverse beams of 6.34 m. Floor modules, individually bolted and measuring 3.50 m long and 1.00 m wide, are installed on these beams. Optionally, a pedestrian walkway 1.00 m wide can be installed.

The main advantages include the modular concept, ease of assembly and maintenance, and the fact that expropriations are not required to replace wooden bridges. A disadvantage identified is the inability to take advantage of material savings that designs based on strength testing allow.

Finally, it is concluded that the design is the first step in an innovation process that should continue based on the experience gained during the construction and operation stages, and it should be added to the alternatives of the Highway Department for temporary minor bridges.

* Corresponding author at: Frank Schanack, Universidad Austral de Chile, Laboratorio de Ingeniería de Puentes y Estructuras, General Lagos 2086, Valdivia, Chile. E-mail address: Frank.schanack@uach.cl

RIOC

journal homepage: <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/index>

Vol. 12, no. 03, pp. 1–8, Diciembre 2024

1. Introducción.

A diciembre de 2021, la red vial de Chile contaba con 6781 puentes, de los cuales 1281 eran puentes menores a 30 metros con una estructura de madera (Retamal et al. 2022). Estos puentes de madera se consideran provisorios debido a su limitada durabilidad bajo las condiciones climáticas del sur de Chile, como ejemplifican los daños mostrados en la figura 1. Para mantener su capacidad de carga, estos puentes deben ser reemplazados cada 10 años, en promedio, o incluso antes.

La Dirección de Vialidad se ha propuesto la meta de reemplazar la totalidad de estos puentes por estructuras más duraderas en un plazo de 10 años. Sin embargo, el diseño, la licitación, la construcción y la recepción de puentes a una razón de 128 puentes por año no es factible utilizando únicamente la tipología de «puente definitivo». Para lograr esta meta, es ineludible diversificar e innovar el abanico de soluciones posibles, incorporando, por ejemplo, baterías de alcantarillados, puentes mecanos, puentes de madera tratada, entre otras opciones.



Figura 1. Daños que reducen la durabilidad de puentes de madera.

En este contexto, la Dirección de Vialidad Región de La Araucanía busca implementar el concepto de «puente metálico desmontable». Es decir, un puente con diseño tipo, disponible en diferentes longitudes y adaptable a condiciones de lugar lo más diversas posibles. Adicionalmente, este puente debe componerse de elementos prefabricados, que puedan ser adquiridos y acopiados previamente, para ser montados por el mismo servicio en un lugar determinado ante situaciones urgentes o de emergencias.

Para responder a esta necesidad, se desarrolló el «puente metálico desmontable», cuya génesis de proyecto y detalles de diseño se exponen en este artículo.

2. Metodología.

2.1. Génesis del Proyecto.

Dado que se trata de un diseño tipo, es decir, sin un emplazamiento específico y que además debe responder necesidades de conservación de puentes, el diseño del puente

metálico desmontable fue incorporado en la licitación «Consultoría de Catastro de Puentes, Provincia de Cautín, Región de la Araucanía, Año 2020».

En específico, los Términos de Referencia y las Bases de esta consultoría requerían que el consultor elaborara un proyecto de reposición de puente del tipo desmontable metálico, con bases técnicas y económicas a nivel de detalle de obras (figura 2). Este proyecto debía incluir un diseño estructural para un puente metálico desmontable, cualquier sea su tipo con una longitud de 25 metros, concebido como «proyecto definitivo tipo» (estándar) a considerarse en la reposición de puentes menores.

Las principales condiciones de borde para el proyecto se definían de la siguiente manera:

- Una pista de tránsito
- Un pasillo segregado, ancho útil: 1 m, en voladizo
- Fundación directa
- Estructura en base a elementos de menor tamaño que sean fácilmente transportables
- Estructura de acero ASTM A709 Gr. 50 o superior
- Capacidad mínima: AASHTO HS25 (3.7.2, AASHTO, 2002)
- Montable con un máximo de 6 personas y una grúa pluma no mayor a 8 t
- Conexiones de los paneles con pasadores (máximo 2 diámetros diferentes)
- Otras conexiones en terreno apernadas (máximo 4 diámetros diferentes)
- Superficie rodadura: metálico diamantado con recubrimiento epóxico ancho de calzada 5 m
- Deflexión máxima: $L/800$.

La consultoría fue adjudicada a la empresa STRADALE Ingeniería de Proyectos & Asesorías Ltda. quien incorporó en su equipo, para esta tarea en específico, al Laboratorio de Ingeniería de Puentes de la Universidad Austral de Chile.

<p>3.10. ELABORACIÓN DE PROYECTO DE REPOSICIÓN DE PUENTE DEL TIPO DESMONTABLE METÁLICO</p> <p>El consultor elaborará un proyecto de reposición con sus bases técnicas y económicas a nivel de detalle de obras de un (1) diseño estructural de puente metálico desmontable, cualquier sea su tipo y de longitud de 25 m, concebido como "proyecto definitivo tipo" (estándar) a considerarse en la reposición de puentes menores cuyas longitudes sean iguales o menores a la descrita. Sólo se considerarán puentes con fundación directa para estos fines y la solución tipo deberá solo poseer una longitud de 25 metros, diseñado en una pista de tránsito y un pasillo segregado, debiendo evaluar su factibilidad constructiva, costos directos, y disponibilidad en el mercado.</p> <p>Los criterios, para la definición la solución tipo, deberá ser propuesto por el Consultor, en concordancia a los lineamientos del Inspector Fiscal y el Subdepartamento de Ingeniería. Sin embargo, al menos deberán considerarse los siguientes criterios de selección y aplicación para un puente tipo conforme a las características antes mencionadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proceso constructivo, de armado y sistema de lanzamiento. • Sistema de Lanzamiento: Diseño y especificaciones de elementos resistentes. • Plan de mantenimiento periódico y rutinario. La estructura debe considerar un mantenimiento simple (solo apriete de pernos) en formato Checklist. • Efectos de corrosión. • Materialidad de los elementos resistentes dentro del mercado nacional. • Elementos resistentes en base a elementos de menor tamaño que sean fácilmente transportables. • Tipo de acero: Según el punto 3.1003.801 usar ASTM A709 grado 50 o superior, para elementos resistentes principales. Considerar zona geográfica número 2 de acuerdo a Manual de Carreteras para el ensayo de Charpy. • Capacidad: AASHTO HS25 o superior. • Especificaciones técnicas, Cuadros de obras, cuadro de cubicaciones. Lo anterior en cada una de las Fases. • Memorias de cálculo en sistema MKS. Todas las memorias de cálculo y planos serán presentadas en lenguaje español, lo anterior en cada una de las Fases. • Reutilización de sus elementos. • La estructura debe permitir ser armada considerando un máximo de 6 personas y una 	<p>MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN DE VIALIDAD 082</p> <p>grúa pluma no mayor a 8 Ton.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conexiones: Las conexiones de paneles deberán hacerse usando pasadores. El sistema de conexiones de elementos de armado de la estructura debe contar con un máximo de 4 diámetros diferentes para pernos y solo 2 diámetros para bulón/pasador o similar. Ninguna conexión puede ser en base a soldadura en terreno. • Tablero de rodado: Debe ser metálico diamantado y con recubrimiento epóxico. • Pasillo segregado será mediante una pasarela ancho 1 m útil en voladizo. • Características geométricas de forma y emplazamiento. • Numero de pistas. • Nivel de importancia del camino. • Transito Medio Diario Anual (TMDA). • Tipo de suelo. • Zonificación sísmica. • Deflexión Máxima: L/800.
--	--

Figura 2. Extracto de los Términos de Referencia de la consultoría. Folios 61 y 62 de las Bases.

Tras un estudio bibliográfico y la revisión de antecedentes, se definió que el puente a diseñar debía ser un puente de paneles con las siguientes características adicionales:

- Longitud de módulos redondeado 50 cm
- Módulos de entrada y salida más cortos
- Un solo tipo de módulo de piso con fijación individual
- Ancho útil: 5,00 m de calzada (5,50 m libre entre vigas)
- Solución tipo para contención de terraplén en base a perfiles de acero hincados y paneles de acero
- Peso máximo de elementos: 2 t
- Ancho máximo de elementos: 3,50 m

Finalmente, el consultor entregó a la Dirección de Vialidad seis configuraciones de puentes modulares distintas, según se muestra en la tabla 1, las cuales podrán ser armadas con o sin el pasillo peatonal, lo que da lugar a 12 configuraciones en total. Además, se entregaron el diseño de la fundación directa, de los muros de contención modulares para el terraplén de acceso al puente (hasta una altura de 5,00 m), y de la nariz de lanzamiento.

Los documentos entregados son:

- Memoria descriptiva
- Memoria de cálculo
- 12 sets completos de planos de puente, fundación, muro de contención y nariz de lanzamiento
- Plan de mantenimiento
- Lista de chequeo para inspección y mantenimiento
- Cubicaciones, APU, Presupuesto
- Especificaciones técnicas para adquisición
- Especificaciones técnicas para construcción
- Manual de armado

Tabla 1. Longitudes de puente metálico desmontable.

Módulos	Configuraciones con o sin pasillo		
	Longitud total de módulos	Longitud total de puente	Luz de cálculo
3	10,5 metros	10,70 metros	9,88 metros
4	14,0 metros	14,20 metros	13,38 metros
5	17,5 metros	17,70 metros	16,88 metros
6	21,0 metros	21,20 metros	20,38 metros
7	24,5 metros	24,70 metros	23,88 metros
8	28,0 metros	28,20 metros	27,38 metros

2.2. Descripción del diseño.

2.2.1. Criterios de diseño estructural.

El diseño del puente se basa en lo decretado por la norma AASHTO Standard 2002 y el Manual de Carreteras edición 2020. Para la sobrecarga se usó el camión de diseño HS25. Para las verificaciones de fatiga se usó la carga viva correspondiente a un camión HS 20 y las tensiones admisibles por fatiga para 2.000.000 ciclos conforme a lo señalado en el 10.3.1 de la norma AASHTO 2002.

El puente y sus apoyos fueron diseñados para resistir sismos hasta una magnitud equivalente a un coeficiente de aceleración efectiva máxima igual a 0,4, un suelo tipo III con $S=1,2$ y un factor de importancia $K_1=1,0$. Se realizó un análisis modal espectral según establecido en el Manual de Carreteras. Dado que el puente tiene poco peso propio, las fuerzas sísmicas son controlables sin consideraciones especiales.

2.2.2. Materiales

El acero estructural de vigas, arriostramientos y atiesadores

corresponde a ASTM A709 Gr. 50 (zona geográfica 2 para ensayos de Charpy). La chapa de rodadura es acero ASTM 709 Gr. 50 con recubrimiento epóxico. Las barandas son de acero A240ES. Los pernos son de acero ASTM A325, los pasadores de acero ASTM A108. La placa de apoyo es de neopreno con una dureza Shore A60 vulcanizado contra placas de acero ASTM A36. El hormigón de la mesa de apoyo es G25 con nivel de confianza 90% barras de refuerzo de acero A630-420H. En los rodillos se usan rodamientos de aguja.

2.2.3. Superestructura del puente.

El puente metálico desmontable (figura 3) se compone de módulos que se conectan longitudinalmente entre sí. Cada módulo consta de los siguientes elementos:

- 2 paneles (Módulo tipo)
- 5 módulos de piso
- 2 vigas transversales
- 4 barras de arriostamiento
- 4 módulos de guardarruedas

Opcionalmente, en el caso de colocar un pasillo peatonal, se deben considerar:

- 2 consolas
- 4 módulos de baranda
- 1 módulo de piso

Por cada puente, se debe disponer de los siguientes elementos adicionales:

- 2 cantoneras de calzada (+2 en caso de pasillo)
- 1 viga transversal (+1 consola en caso de pasillo)
- 2 apoyos fijos
- 2 apoyos móviles

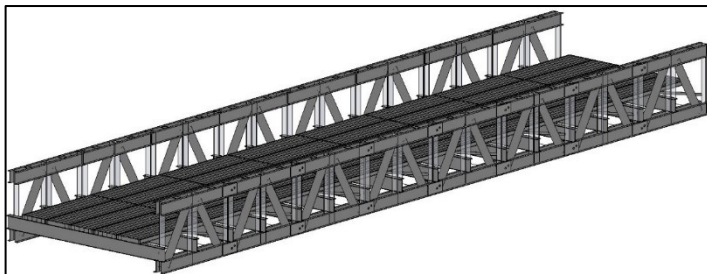


Figura 3. Puente modular en su configuración de 28,20 m, sin pasillo.

2.2.3.1. Módulo tipo.

Los módulos se componen de cordones superior e inferior usando dos perfiles UPN400 distanciados a 200 mm. Los cordones se unen mediante dos diagonales 200x200x8 y cuatro montantes C200x50x6 soldados en sus extremos. Las diagonales tienen 2300 mm de longitud y se disponen inclinadas en direcciones opuestas para formar un enrejado de tipo Warren (figura 4). Por otro lado, los montantes tienen una longitud de 2200 mm y se ubican en los

extremos y en el centro de cada módulo. En ambos lados, se incorporan placas de conexión tipo «macho» y «hembra».

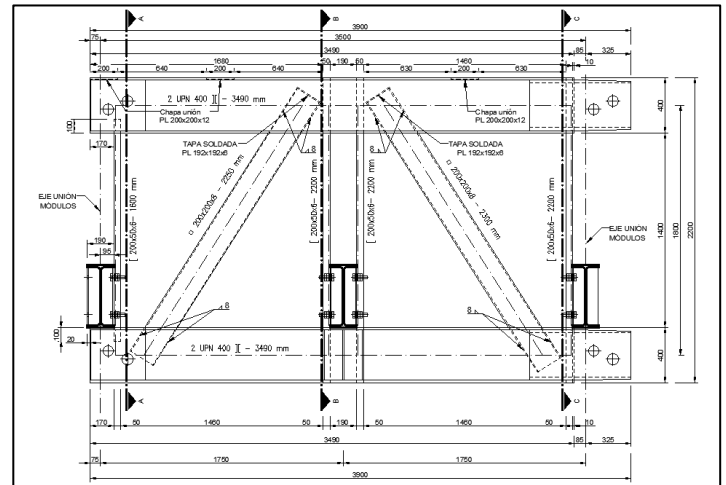


Figura 4. Alzado del módulo tipo.

2.2.3.2. Módulos de piso, guardarruedas y cantoneras.

Para el tránsito vehicular, se utilizan módulos de piso prefabricados que se colocan sobre las vigas transversales. Estos módulos tienen 1,02 m de ancho y 3,5 m de largo, y se componen de cuatro vigas IPN140, dos vigas UPN140 y una chapa diamantada de 8 mm de espesor, lo que permite una distribución uniforme de las cargas de los vehículos (figura 5). Todos los módulos de piso que se utilizan son iguales, sin embargo, en aquellos que se ubican en los bordes de la calzada, es necesario apernar un perfil especial para servir de guardarruedas (figura 6). Los módulos de piso se fijan a las alas de los travesaños por medio de conexiones apernadas en sus extremos. Cabe mencionar que en los pasillos peatonales se usan los mismos módulos de piso.

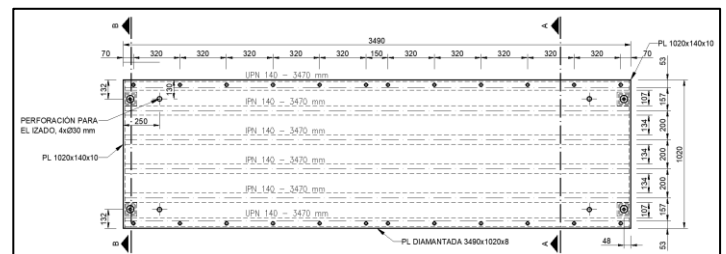


Figura 5. Vista en planta de un módulo de piso.

Dado que los módulos de piso tienen una longitud de 3,5 m, estos solo llegan hasta el eje de cada travesaño, sin cubrirlo por completo, generando un desnivel en los extremos del puente. Para mantener el nivel de la rasante en la entrada y salida del puente, se utilizan cantoneras apernadas de la misma manera que los módulos de piso.

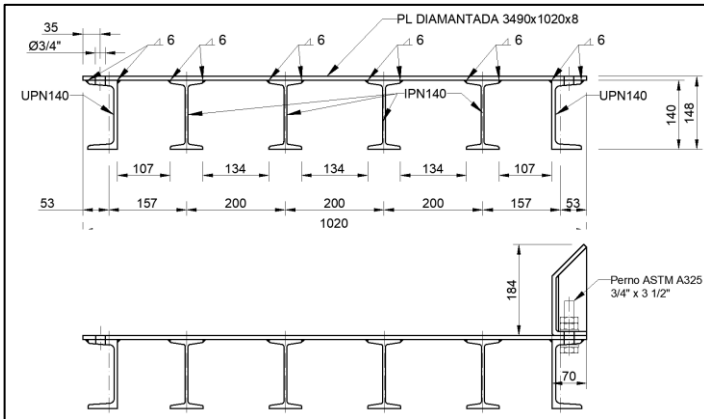


Figura 6. A la izquierda: Corte A-A de módulo de piso con y sin guardarruedas. A la derecha: Detalle de conexión de cantoneras con travesaño.

2.2.3.3. Vigas transversales y arriostramientos.

Las vigas transversales tienen una doble función, ya que sirven como unión entre los módulos de ambos costados del puente, determinando el ancho del puente, y además sirven de soporte para los módulos de piso que componen la vía de tránsito vehicular, como muestra figura 7.

Estos elementos se posicionan por sobre el cordón inferior de los módulos y se fijan mediante pernos a los montantes. Los travesaños son vigas IPE450 de 6,34 m de largo y se encuentran distanciados a 1,75 m entre sí a lo largo de toda la estructura.

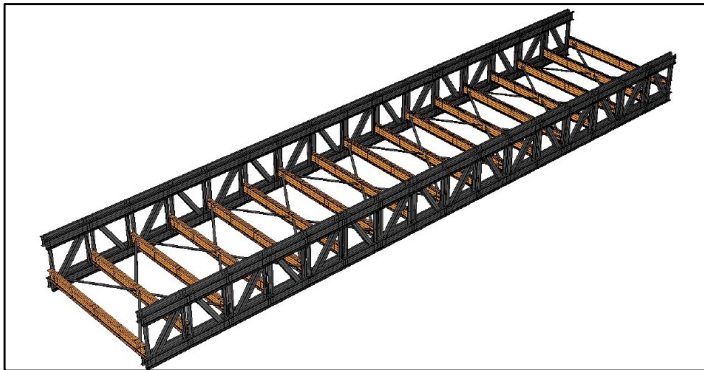


Figura 7. A la izquierda: Corte A-A de módulo de piso con y sin guardarruedas. A la derecha: Detalle de conexión de cantoneras con travesaño.

Los arriostramientos consisten en perfiles ángulo L80x80x8 de 3 m de longitud conectados a las vigas transversales (tanto del puente, como de la nariz de lanzamiento) en el centro y en los extremos. La conexión de los arriostramientos a los travesaños se realiza mediante pernos de 1" de diámetro, los cuales unen las vigas transversales a unas placas de unión que, a su vez, se encuentran soldadas a las barras de arriostramiento.

2.2.3.4. Consolas y Barandas.

En caso de ser requerido, es posible incorporar un pasillo peatonal

en uno de los costados del puente, como muestra la figura 8, para permitir el tránsito de peatones por un área segura. El pasillo se compone de: vigas transversales (consolas) IPE350 de 1,26 m de largo apernados a los travesaños principales del puente; módulos de piso idénticos a los utilizados en la calzada; y barandas peatonales en sus costados. Los módulos de piso en el pasillo, al igual que en la calzada, se deben apernar a las alas de los travesaños en sus extremos. Por otro lado, la baranda se dispone en módulos que se deben apernar a los perfiles cuadrados soldados a las vigas transversales. Cabe mencionar, que se disponen de cantonera más cortas para el pasillo, dado su menor ancho en comparación con la calzada.

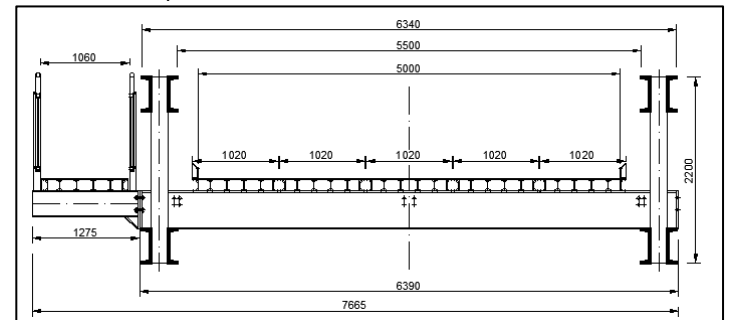


Figura 8A. Sección transversal con pasillo.

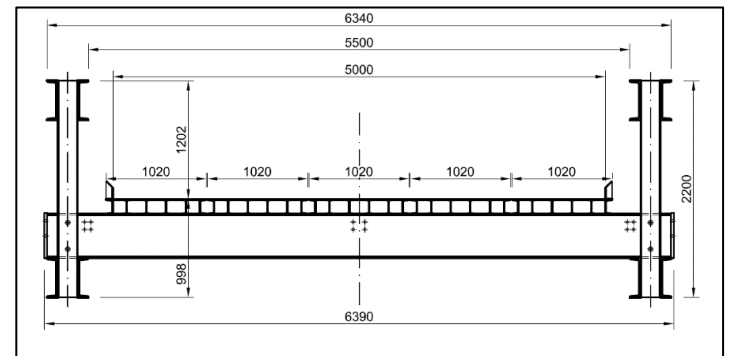


Figura 8B. Sección transversal sin pasillo.

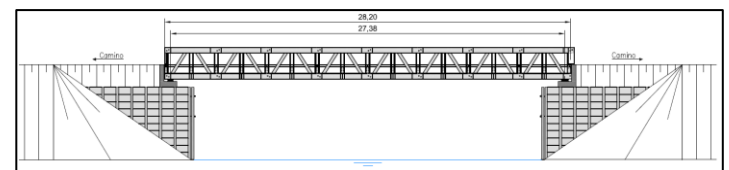


Figura 8C. Alzado del puente metálico desmontable con 8 módulos.

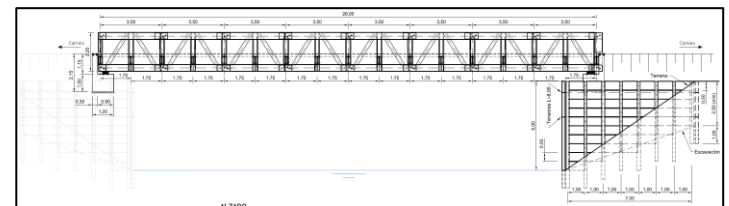


Figura 8D. Corte longitudinal puente metálico desmontable con 8 módulos.

2.2.3.5. Aparatos de apoyos fijo y móvil.

El apoyo fijo se materializa mediante dos placas ranuradas conectadas mediante pasadores al cordón inferior de los módulos. Estas placas se apoyan sobre un rodillo fijo de 150 mm de diámetro que permite la rotación en la dirección longitudinal. El rodillo se encuentra anclado al estribo correspondiente, como se muestra en la figura 9.

Para permitir el desplazamiento horizontal en un extremo del puente, se utilizan apoyos con placas elastoméricas reforzadas con láminas de acero. La placa elastomérica se encuentra apernada a las placas metálicas de anclaje mediante cuatro pernos de cabeza plana. Las placas de anclaje inferiores se fijan mediante pernos de anclaje al estribo correspondiente, mientras que las placas de anclaje superiores van apernadas a una placa que se encuentra por sobre el cordón inferior del módulo, generando una especie de prensa.

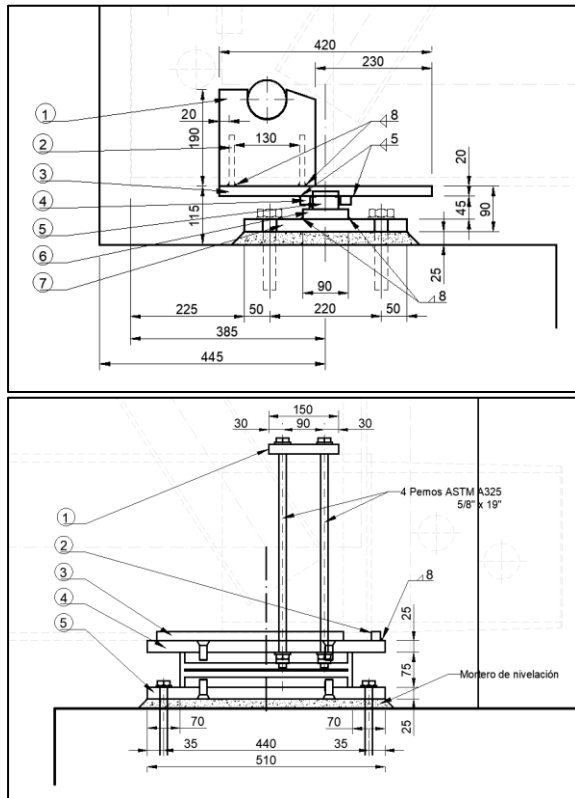


Figura 9. Arriba: Alzado de apoyo fijo. Abajo: Alzado de apoyo móvil.

2.2.4. Nariz de lanzamiento.

Para poder trasladar el puente, se deben armar como mínimo todos los elementos del módulo tipo, de la viga transversal y del arriostramiento. En tal caso, el puente puede ser levantado en sus extremos y trasladado utilizando maquinaria adecuada según el peso y las condiciones del lugar. Como alternativa, el puente también puede ser armado detrás de uno de sus estribos y

después ser lanzado sobre el obstáculo a salvar hasta llegar al otro estribo. Para realizar el lanzamiento, se debe montar una nariz de lanzamiento provisoria, con módulos y vigas transversales especialmente diseñados para este propósito.

Los módulos de la nariz de lanzamiento poseen la misma configuración de los módulos tipo que conforman el puente, pero estos tienen una distancia mayor entre ejes de los cordones, alcanzando los 2 m. De igual manera, los módulos de la nariz de lanzamiento solo poseen tres montantes, a diferencia de los cuatro que tienen los módulos tipo. Estos elementos se componen de cordones superior e inferior formados por dos perfiles UPN200, dos diagonales de sección cuadrada 100x100x6 y tres montantes C100x50x6.

Los travesaños en la nariz de lanzamiento son perfiles C300x50x6 de 6,17 m de largo. Estos, al igual que las vigas transversales del puente, se disponen cada 1,75 m. Sin embargo, en este caso, los travesaños que se encuentran en los extremos de los módulos se colocan elevados con respecto al cordón inferior para así no interferir con las placas de conexión.

También se han diseñado equipamientos especiales necesarios para la operación de lanzamiento, como rodillo basculante, cojinete de apoyo basculante, rodillo fijo y zapato de llegada (figura 10).

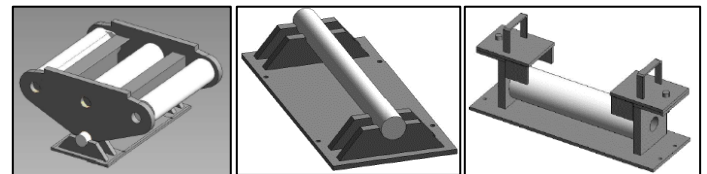


Figura 10. De la izquierda a la derecha: rodillo basculante, cojinete de apoyo basculante y rodillo fijo.

2.2.5. Infraestructura del puente.

En principio, el puente puede ser apoyado en cualquier tipo de estribo que tenga suficiente resistencia y una geometría adecuada. Sin embargo, se recomienda la construcción de una mesa de apoyo con fundación directa, como la que muestra la figura 11. Es de hormigón armado, tiene 11,42 m de largo, 1,2 m de ancho y 1,0 m de alto. Cuenta también con un muro de espaldar de 11,42 m de largo, 0,3 m de ancho y 1,2 m de alto.

En caso ser necesario, el proyecto incluye el diseño de un muro de contención metálico que puede ser utilizado para alturas de hasta 5,0 m. Se basa en perfiles HEB180 hincados y anclados entre sí mediante barras helicoidales galvanizadas con un diámetro de 32 mm. Los perfiles se disponen a distancias de 1,0 m y se complementan con paneles metálicos prefabricados de 50 cm de alto, que se encajan entre los perfiles desde la parte superior. Estos paneles tienen un marco de perfiles canal C 80x40x4 y una

plancha de acero de 4 mm de espesor.

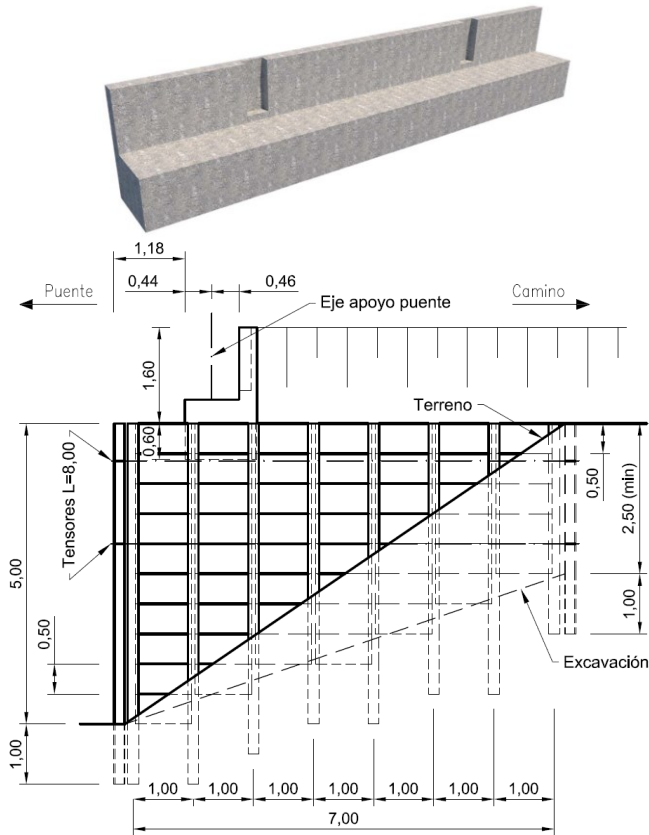


Figura 11. Arriba: Mesa de apoyo de HA. Abajo: Muro de estribo de muros de contención metálicos.

2.3. Montaje del puente.

El diseño del puente metálico desmontable incluye un Manual de Armado detallado, que entrega una descripción general del puente, tablas y listados de todos los elementos con su cantidad y marcas, los requisitos para el equipo de montaje, el equipamiento necesario y, por último, la secuencia de instalación y lanzamiento del puente.

En términos generales, el orden de armado del puente es el siguiente: 1. Módulos tipo, 2. Vigas transversales, 3. Arriostramientos, 4. Módulos de piso, 5. Guardarruedas, 6. Cantoneras y 7. Aparatos de apoyo. Entre el paso 3 y 4 se realiza el lanzamiento del puente. La configuración típica para el lanzamiento, se muestra en la figura 12.

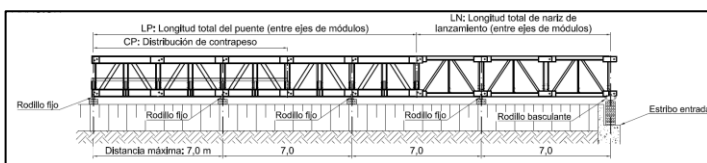


Figura 12. Configuración típica para el lanzamiento.

3. Análisis de resultados.

3.1. Evaluación Económica.

Como ocurre en todo proyecto innovador, el costo calculado durante el diseño corresponde a una estimación basada en el costo de obras similares. Para realizar esta estimación, se han elaborado las cubicaciones detalladas, especificaciones técnicas especiales y un análisis de precios unitarios. Este último considera precios de mercado público y un análisis estadístico de ofertas para obras similares. Es importante tener en cuenta que esta estimación proporciona valores aproximados y no refleja con precisión los costos reales, los cuales se determinarán durante la primera adquisición. En la tabla 2 se presentan los costos estimativos para la superestructura del puente.

Tabla 2. Costos estimativos (con IVA) de la superestructura del puente metálico desmontable.

Longitud	Costo Superestructura sin pasillo	Costo Superestructura con pasillo	Costo pasillo peatonal
10,5 m	\$167.177.800	\$185.185.125	\$18.007.325
14,0 m	\$219.503.071	\$243.170.817	\$23.667.746
17,5 m	\$271.840.589	\$301.156.584	\$29.315.995
21,0 m	\$324.165.860	\$359.148.362	\$34.982.501
24,5 m	\$376.509.465	\$417.146.301	\$40.636.836
28,0 m	\$428.834.736	\$475.131.993	\$46.297.257

3.2. Comparación con puentes mecánicos comerciales.

Si bien el concepto de diseño del puente metálico desmontable es parecido a un puente mecánico comercial, no pretende reemplazarlo. A continuación, se reseñan las principales diferencias, ventajas y desventajas entre ambas soluciones.

Sección transversal: El diseño del puente metálico desmontable se ajusta a los lineamientos específicos de la Dirección de Vialidad. Su sección transversal (5 m de calzada) es capaz de cumplir su función con gran adaptabilidad. Por ejemplo, generalmente no será necesario realizar expropiaciones cuando se use para el reemplazo de puentes de madera unidireccionales, pero sí permitirá la circulación de máquinas agrícolas y forestales con anchos mayores. También como alternativa adicional se consta de un pasillo peatonal segregado de ser necesario.

Fabricación nacional: El diseño del puente metálico desmontable tiene elementos que están disponibles en el mercado nacional, por lo que la fabricación de los módulos del puente es posible con los plazos normales de cualquier obra en Chile. Los puentes mecánicos comerciales deben ser importados, lo que aumenta los plazos y gestiones necesarios.

Facilidad de montaje: El puente metálico desmontable fue diseñado para adaptarse a las capacidades y equipos disponibles

en la cuadrilla de puentes de la Región de la Araucanía. Puede ser montado utilizando las capacidades existentes y no requiere equipos especiales.

Facilidad de mantenimiento: En el puente metálico desmontable, los módulos de piso, guardarruedas, barras de arriostramiento y cantonera pueden ser reemplazados, ya que tienen conexiones apernadas. Se destaca que los módulos de piso son apernados individualmente y desde arriba. Tal y como en un puente mecano, el diseño del puente metálico desmontable incluye un instructivo de mantenimiento en formato de lista de verificación, que se enfoca principalmente en la revisión del apriete de pernos.

Capacidad de carga: En el puente metálico desmontable, todos los elementos de la superestructura e infraestructuras están diseñados para cumplir las exigencias normativas de un puente definitivo, sin ninguna restricción de carga, ni velocidad, ni cantidad de vehículos. No todos los puentes mecano tienen este mismo estándar.

Durabilidad: El puente metálico desmontable puede permanecer varios años en el lugar de instalación, hasta que se puedan completar los trabajos de diseño y la construcción de un puente definitivo que resuelva la conectividad del sector a salvar.

Diseño por normativa: El puente metálico desmontable fue diseñado aplicando normas de diseño para puentes definitivos. Esto no permite aprovechar ahorros de material que se obtienen, especialmente en las conexiones, cuando las comprobaciones de diseño se reemplazan por ensayos de resistencia, como ocurre en los puentes mecano comerciales.

Vida útil: La superestructura del puente metálico desmontable tiene una vida útil equivalente a un puente definitivo, ya que cumple las mismas exigencias de diseño y fabricación. Tal y como en un puente definitivo, la máxima vida útil se logra cuando se ejecutan las inspecciones y mantenciones recomendadas. Dado que estos puentes se usarán en situaciones de urgencia y/o emergencias, las evaluaciones geotécnicas e hidráulicas no pueden tener el mismo carácter definitivo, lo cual requiere un estudio particular con plazos más extensos. Por esta razón, la infraestructura del puente metálico desmontable y del puente mecano requiere cuidados especiales durante su vida útil.

Considerando las características anteriormente descritas, se puede elegir en cada caso concreto la opción más adecuada: puente metálico desmontable o puente mecano comercial.

4. Conclusiones.

Este proyecto tiene como objetivo proporcionar una solución a los problemas prácticos que enfrenta la Dirección de Vialidad

cuando debe reemplazar un puente de forma urgente. En estas situaciones, a menudo no hay tiempo suficiente para adoptar soluciones convencionales que requieren estudios y gestión de financiamiento. Además, busca mejorar la práctica de construcción de puentes provisorios de madera, que es poco satisfactorio por su limitada vida útil. Considerando el elevado número de puentes bajo la tuición de la Dirección de Vialidad, con diversas características, este diseño no pretende ser una solución universalmente aplicable, sino una opción adicional a las alternativas que la Dirección de Vialidad dispone actualmente para atender puentes menores no definitivos.

Somos conscientes de que el diseño es un primer paso. Estamos preparados para enfrentar las incógnitas que puedan surgir durante las fases de adquisición, fabricación, transporte, montaje y operación del puente. Y en base a la experiencia ganada, elaboraremos una versión mejorada del diseño. Estamos convencidos de que este es el costo que hay que asumir para innovar.

5. Agradecimientos.

Los autores agradecen la Dirección de Vialidad Región de La Araucanía y la empresa STRADALE Ingeniería de Proyectos & Asesorías Ltda. por su apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Además, queremos hacer especial mención a la Sra. Myriam Navarro Cifuentes como miembro del equipo revisor del presente proyecto, así como al Sr. Víctor Acuña Poblete, Jefe del Departamento de Conservación y Administración Directa ambos de la Dirección de Vialidad Región de La Araucanía.

6. Referencias.

- AASHTO. (2002). *Standard Specifications for Highway Bridges (17ma ed.)*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP) (2022). *Manual de Carreteras*. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Santiago de Chile.
- Retamal, J., Márquez, M., Bianchi, E. (2022). *Plan de Puentes 2020 – 2030*. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Registro de Propiedad Intelectual N° 2022-A-3364, Santiago de Chile.