

Construcción del Puente Atirantado TrengTreng KayKay*

*Construction of the TrengTreng KayKay Cable Stayed Bridge***

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez^a, Ricardo Rafael Pereira de Sousa^b, Guillermo Ortega Carreras^c, Rodrigo Perales Aravena^d, Marcos J. Pantaleón Prieto^e, Frank Schanack^f.

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. WSP Spain – APIA XXI. Departamento de Puentes.

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

^d Ingeniero Civil. SERVIU Región de la Araucanía. Director de Obra.

^e Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. Catedrático de Estructuras Metálicas.

^f Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Austral de Chile. Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles.

RESUMEN

El TrengTreng KayKay es un puente atirantado asimétrico, de 240 m de longitud total, que cruza el Río Cautín en las afueras de la ciudad de Temuco, en Chile. Los elementos de mayor singularidad del puente son el vano principal, de 140 m de luz, sobre el río, y el mástil de hormigón, de 70 m de altura, que presenta dos fustes quebrados unidos en coronación por una cabeza maciza común en la que se anclan los tirantes. La construcción del vano atirantado sobre el río se realiza cimbrada sobre pilotes provisionales, los cuales se van retirando una vez que se van instalando y tesando los tirantes.

ABSTRACT

The TrengTreng KayKay is an asymmetrical cable stayed bridge, with a total length of 240 m, spanning the Cautín River on the outskirts of the city of Temuco, in Chile. The two more outstanding elements of the bridge are the main span, 140 m long, over the river, and the concrete pylon, 70 m tall, which is made of two broken line columns bound at their top by means of a solid common head where the anchorages of the stays are located. The main span over the river is poured on a scaffolding, founded on temporary shafts, which are removed once the stays are installed and stressed.

PALABRAS CLAVE: atirantamiento, mástil quebrado, proceso constructivo, secuencias de hormigonado.

KEYWORDS: stays, broken line pylon, erection procedure, concrete pour sequence.

1. Descripción del puente

El diseño del puente atirantado TrengTreng KayKay ya fue presentado en el VII Congreso de ACHE [1]. En esta ponencia se describen aspectos particulares relativos a su construcción. El puente TrengTreng KayKay cruza el Río Cautín en las afueras de la ciudad de Temuco, en Chile. Su longitud total es de 240 m, y se compone de cuatro vanos menores y el principal,

sobre el río, atirantado de 140 m, siendo la distribución de luces resultante 23 + 27 + 140 + 27 + 23 m (Fig. 1 y Fig. 2).

El tablero del puente es de hormigón pretensado, y tiene una anchura total de 27 m, lo que permite alojar dos pistas de circulación en cada sentido, más amplias veredas laterales y una ciclovía (Fig. 3).

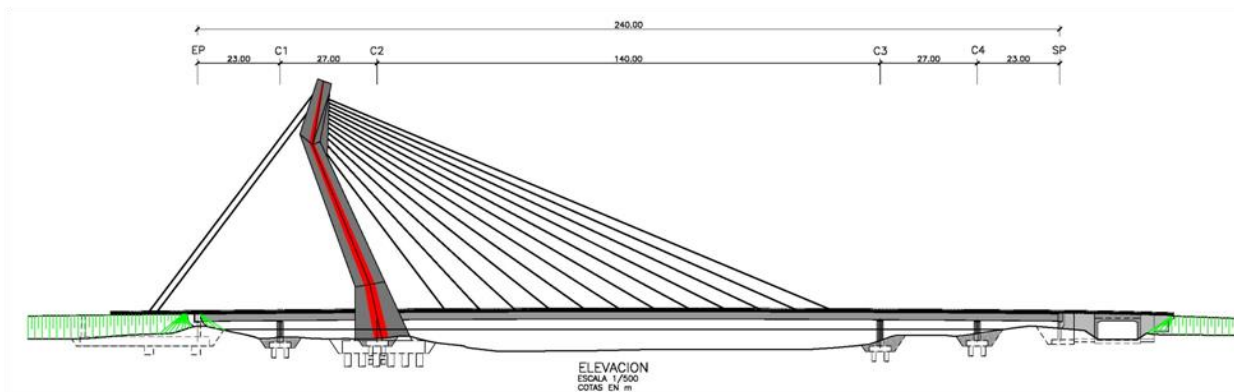


Figura 1. Alzado y distribución de vanos.



Figura 2. Vista general del avance de los trabajos de construcción del puente.

El elemento más singular del puente es el mástil, de 70 m de altura, con dos fustes independientes de directriz quebrada que comparten una cabeza común donde se anclan los tirantes. Se trata de un mástil de hormigón pretensado, en cuyo diseño han prevalecido los criterios escultóricos y figurativos, pretendiendo simbolizar una antigua leyenda mapuche sobre la formación de la tierra, capturando la imagen de la lucha entre KayKay, la serpiente del mar, y TrengTreng, la serpiente de la tierra (Fig. 4).

En la cabeza del mástil se anclan los tirantes del viaducto. Hay dos planos de tirantes, cada uno con 12 tirantes delanteros y 4 tirantes traseros de retenida. Los tirantes delanteros se anclan en el vano central de 140 m a distancias de 10 m. La disposición de los tirantes corresponde prácticamente a un esquema en abanico, puesto que la separación vertical de los anclajes superiores es de 1.0 m. En cuanto al sistema de atirantamiento trasero, este se compone de dos pares de cuatro cables paralelos anclados al

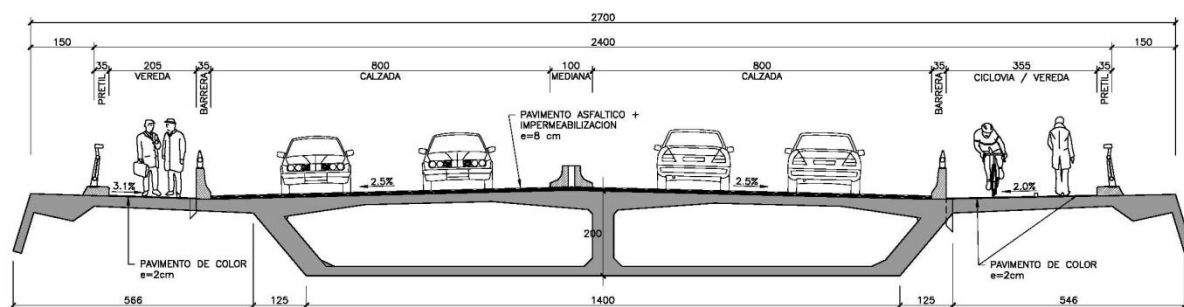


Figura 3. Sección transversal tipo.



Figura 4. Estado actual de la construcción del mástil.

estribo de retenida. Los tirantes delanteros oscilan entre un número de cordones de 27 y 67, mientras que los 8 tirantes de retenida son de 127 cordones cada uno.

2. Descripción del proceso constructivo

La no excesiva profundidad del cauce, así como las buenas características del subsuelo que

muestran los sondajes, han llevado a plantear una construcción independizada de cada uno de los elementos resistentes bajo la siguiente secuencia constructiva:

- Construcción de vanos menores en tierra sobre cimbra cuajada (Fig. 5).
- Construcción del mástil.
- Construcción del vano principal sobre el río apoyado en torres provisionales pilotadas (Fig. 6).



Figura 5. Construcción de vanos menores en tierra sobre cimbra cuajada.

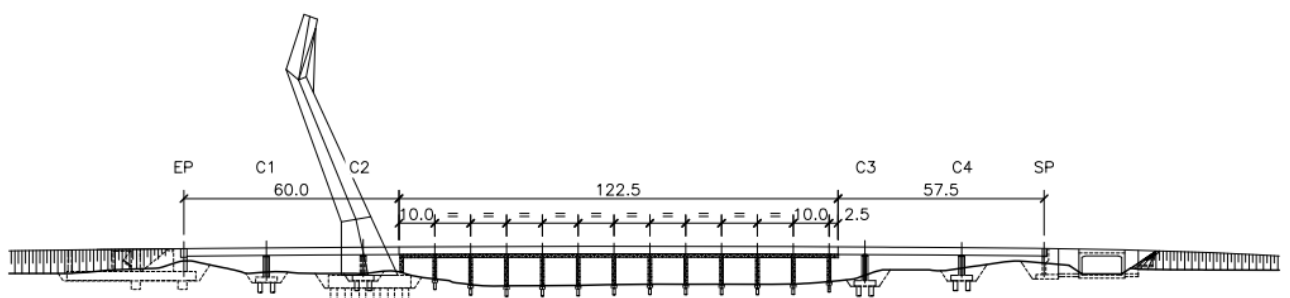


Figura 6. Construcción del vano principal sobre el río apoyado en torres provisionales pilotadas.

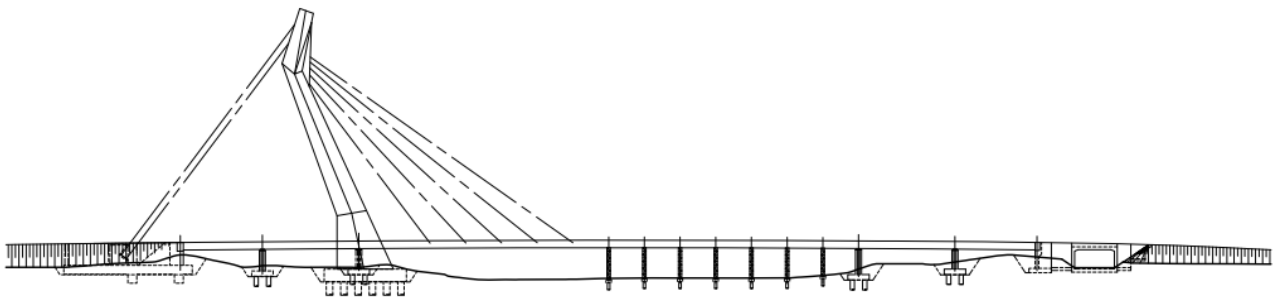


Figura 7. Instalación y puesta en carga de los tirantes delanteros y traseros y retirada de las torres provisionales en el río.

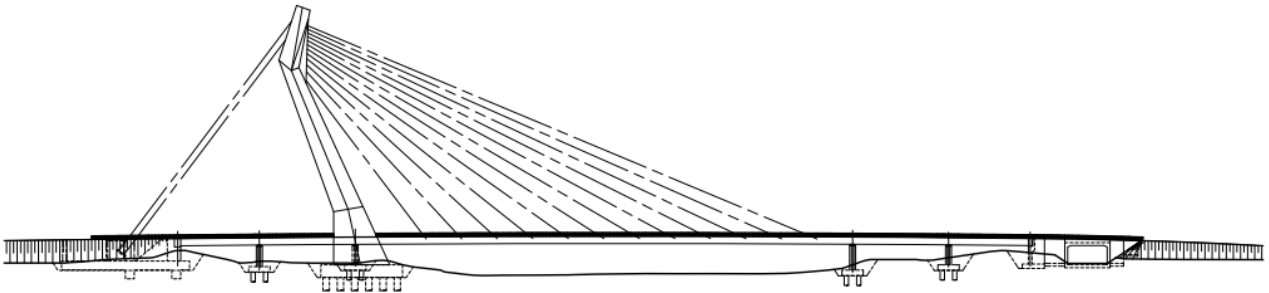


Figura 8. Tesado del pretensado del vano central del tablero, instalación de barreras, firme y acabados y tesado definitivo de los tirantes.

- Instalación y puesta en carga de los tirantes delanteros y traseros y retirada de las torres provisionales en el río (Fig. 7).
- Tesado del pretensado del vano central del tablero, instalación de barreras, firme y acabados y tesado definitivo de los tirantes (Fig. 8).

3. Construcción del tablero

3.1 Construcción de los vanos laterales

La construcción de los vanos laterales del puente (vanos 1 y 2 y vanos 4 y 5) se ha realizado sobre cimbra cuajada (Fig. 9). La construcción de estos vanos se ha independizado de la construcción del vano central principal sobre el río. Se ha buscado

que estos vanos sean autoportantes durante la etapa constructiva, sin necesidad de estar conectados entre sí por medio del vano central atirantado. De esta manera, se pudo retirar la cimbra cuajada inmediatamente después de su construcción, evitando que hubiese quedado expuesta a posibles avenidas del río y facilitando la circulación de maquinaria en la zona de obras.

Se ha dejado un pequeño voladizo, de 10 m de longitud para los vanos 1 y 2, y de solo 7.5 m para los vanos 4 y 5 (en este caso el voladizo es menor para evitar disponer la junta de construcción en el diafragma de anclaje del tirante 12, - Fig. 10). La finalidad de este pequeño voladizo es doble: por un lado, evitar disponer la junta de construcción en la sección de máximo momento negativo sobre pila y, por otro,



Figura 9. Construcción, sobre cimbra cuajada, de los vanos laterales del puente.

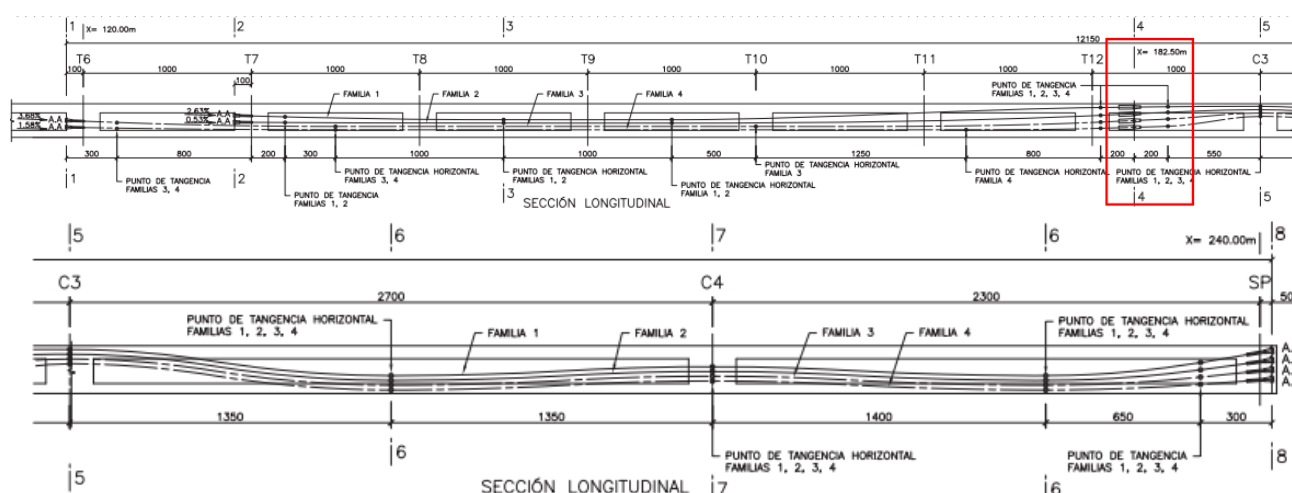


Figura 10. Pretensado longitudinal del tablero.

compensar el momento positivo que se produciría en los vanos 2 y 4 (que alejaría su trabajo estructural del que van a tener en la configuración final del puente).

El tablero del puente dispone de un pretensado longitudinal que discurre por las almas, yendo desde el estribo de salida puente (en el vano 5) hasta aproximadamente la mitad del vano central. Este pretensado es suficiente para hacer autoportantes los vanos 4 y 5 del tablero.

Sin embargo, los vanos 1 y 2 (los cuales van a estar sometidos a la compresión inducida por los tirantes delanteros) no necesitan ningún tipo de pretensado en la configuración final del puente. Por este motivo, se ha dispuesto un pretensado de construcción (en las tablas superior e inferior del tablero), que permite hacer autoportantes estos vanos hasta su conexión con el vano central y el tesado de los tirantes delanteros (Fig. 11).

Por cuestiones de planificación de ejecución, la sección transversal del tablero se ha hormigonado en dos fases: en primer lugar, la tabla inferior y las almas y, en segundo lugar, la tabla superior. Como ya se ha comentado, ante la posibilidad de avenidas del río, que pudieran ocasionar el arrastre de la cimbra cuajada, se optó por disponer una armadura de refuerzo en la parte superior de las almas (Fig. 12), de forma que se evitara el colapso de la sección en U ya hormigonada, en el caso de ocurrir tal eventualidad antes de que tuviera lugar el hormigonado de la losa superior y el tesado del pretensado del tablero.

3.2 Fijación temporal frente a sismo

En su configuración final el puente resiste el sismo longitudinal en el estribo EP mediante un

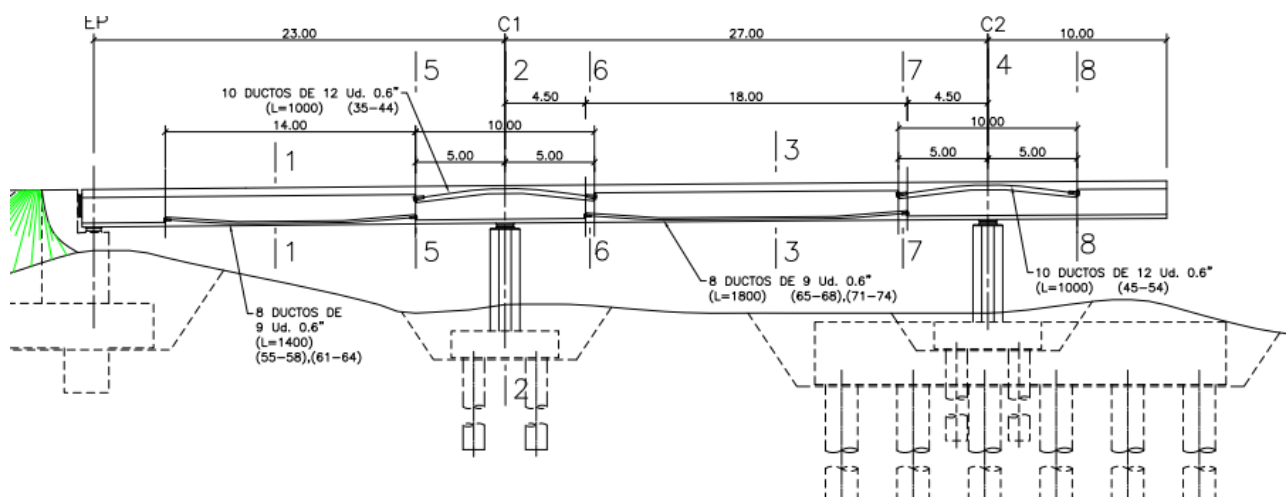


Figura 11. Pretensado de construcción de los vanos laterales 1 y 2.

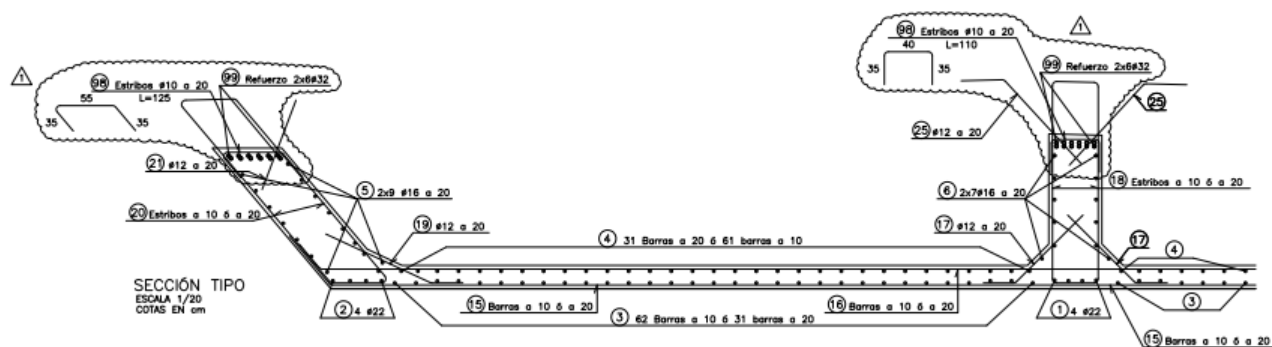


Figura 12. Armadura de refuerzo en las almas del tablero.

tope formado por 8 aparatos de apoyo tipo "pot", de 2800 t de capacidad cada uno (Fig. 13). En las cepas y en el estribo SP se disponen aparatos de apoyo deslizantes multidireccionales, por lo que estos elementos estructurales quedan aislados de la acción sísmica. Por su parte, las fuerzas de sismo transversal son recibidas por topes transversales dispuestos en ambos estribos y en el mástil (Fig. 13).

De esta forma, el esquema resistente frente al sismo no es efectivo hasta que se da continuidad al tablero con el hormigonado del tramo central y se tesa el primer tirante, que comprime el tablero contra el estribo fijo (estribo EP). Es necesario, pues, establecer en los vanos

laterales un sistema de bloqueo provisional que permita hacer frente a eventuales sismos, que se puedan producir antes de que tenga lugar el cierre del tablero con el hormigonado del tramo central. Para ello se han diseñado sendos topes longitudinales provisionales, formados por perfiles metálicos, en ambos estribos (Fig. 14). Para resistir el sismo transversal de construcción en los vanos 1 y 2 se cuenta con los topes transversales definitivos de estribo EP y mástil. Sin embargo, en el caso de los vanos 4 y 5, donde solo se cuenta con los topes transversales del estribo SP, es necesario añadir un tope metálico provisional en la cepa C3 (Fig. 14), que evite el descalce del aparato de apoyo de esta cepa ya que,



Figura 13. Topes sísmicos longitudinales (izq.) y tope sísmico transversal (der.) en estribo EP.



Figura 14. Sistema de bloqueo sísmico temporal: tope transversal (izq.) y longitudinal (der.)

como se ha comentado anteriormente, se trata de un apoyo deslizante multidireccional.

Para el dimensionamiento de los bloqueos antisísmicos provisionales se ha considerado un sismo de 15 años de periodo de retorno, en consonancia con lo indicado en la norma NCSP-07 [2], que establece que, durante la construcción, se tomará el sismo correspondiente a un periodo de retorno no menor de cinco veces la duración de la etapa constructiva.

3.3 Construcción del vano central

La construcción del vano central, sobre el río, se realiza sobre cimbra porticada, constituida por 12 torres de apeo, cada una de ellas cimentada en una sola fila de pilotes. Las torres de apeo se sitúan bajo cada uno de los diafragmas de anclaje de los tirantes delanteros. Se pretende, de esta forma, conseguir una elevada permeabilidad transversal

que permita una eficaz evacuación de las eventuales crecidas del río (Fig. 15 y Fig. 17).

Debido a un cambio en la empresa constructora del puente, las obras sufrieron una paralización de 18 meses, quedando sin completar la construcción del vano central. Solo se habían instalado los encofrados y parte de la armadura del citado vano central (Fig. 15).

Antes de la reanudación de las obras, fue necesario desarrollar un amplio programa de inspección para evaluar el estado de conservación de las armaduras, tanto activas como pasivas, expuestas a la intemperie y valorar su nivel de oxidación y las medidas correctoras necesarias.

Los cordones del pretensado longitudinal de las almas del tablero fueron inspeccionados y evaluados por parte de técnicos de FREYSSINET. Ante su elevado estado de oxidación, y teniendo en cuenta el alto grado de compromiso estructural de estos elementos, se

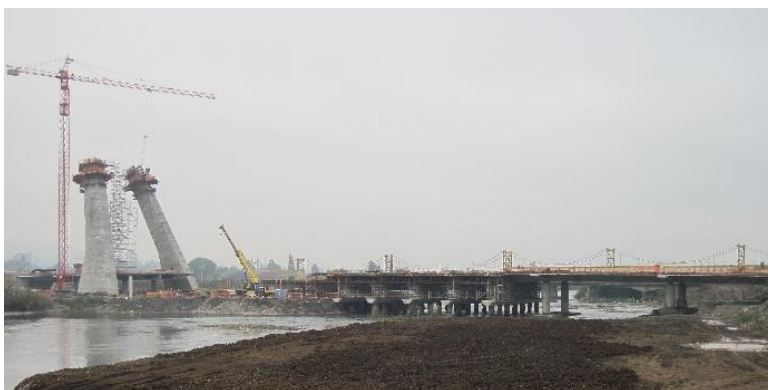


Figura 15. Estado del puente en el momento de paralización de las obras.



Figura 16. Signos de oxidación en los cordones de pretensado longitudinal situados en las almas del puente.

optó por su sustitución por nuevos cordones (Fig. 16). Respecto a las armaduras pasivas, se realizaron trabajos de limpieza de óxido, según las normas de buena práctica [3], consistentes en la remoción del óxido suelto y la laminilla, mediante desincrustado, raspado, descamado, lijado y cepillado.

Actualmente, se ha reanudado la construcción del vano central, habiéndose hormigonado parcialmente, aunque todavía no se ha completado (Fig. 17).

4. Construcción del mástil

El mástil, de hormigón, está inclinado hacia el estribo EP, y tiene dos cambios de directriz creando así la forma estilizada de una serpiente. Se compone de dos fustes poliédricos que se unen en una cabeza común. La sección transversal de los fustes es pentagonal hueca de ancho variable, siendo de 15.77 m en la base y de 4.58 m en la

punta. La cabeza del mástil tiene una forma hexagonal variable. La altura total del mástil sobre la fundación es de 70.50 m, lo que corresponde a una altura aproximada de 63.0 m sobre el tablero. La separación entre los dos fustes del mástil en el suelo es de 37.50 m (Fig. 18).

Se ha establecido como criterio estructural el evitar la fisuración del mástil durante su construcción y el proceso de atirantamiento, de forma que se mantenga su rigidez íntegra durante todo el proceso. De esta manera disminuye la incertidumbre en la determinación de flechas y tensiones en tirantes durante el citado proceso de atirantamiento. Por este motivo, se ha introducido tendones de pretensado tanto en la caras delanteras como traseras del mástil (Fig. 19), por lo que una adecuada planificación de la secuencia de tesado de los tirantes delanteros, de retenida y de los propios tendones de pretensado interior del mástil, permite garantizar el deseado objetivo de mantener íntegra la rigidez del mástil durante la construcción del puente.

El ferrallado y hormigonado del mástil constituyen por sí mismos un reto constructivo de primera magnitud, debido a la masividad y variabilidad geométrica de las formas del mástil, en conjunción con la realización de los trabajos a gran altura y en una ubicación de difícil acceso (Fig. 20).

Por este motivo, la construcción de la cabeza del mástil se ha planificado cuidadosamente mediante un proceso secuencial compuesto por un total de 11 etapas, en las que se ha estudiado de forma detallada la ubicación de las juntas de construcción, para compatibilizarlas con la instalación de los anclajes del pretensado

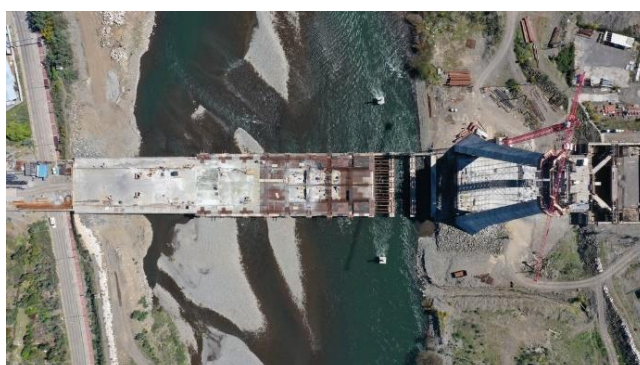


Figura 17. Estado actual de la construcción del tablero del puente.

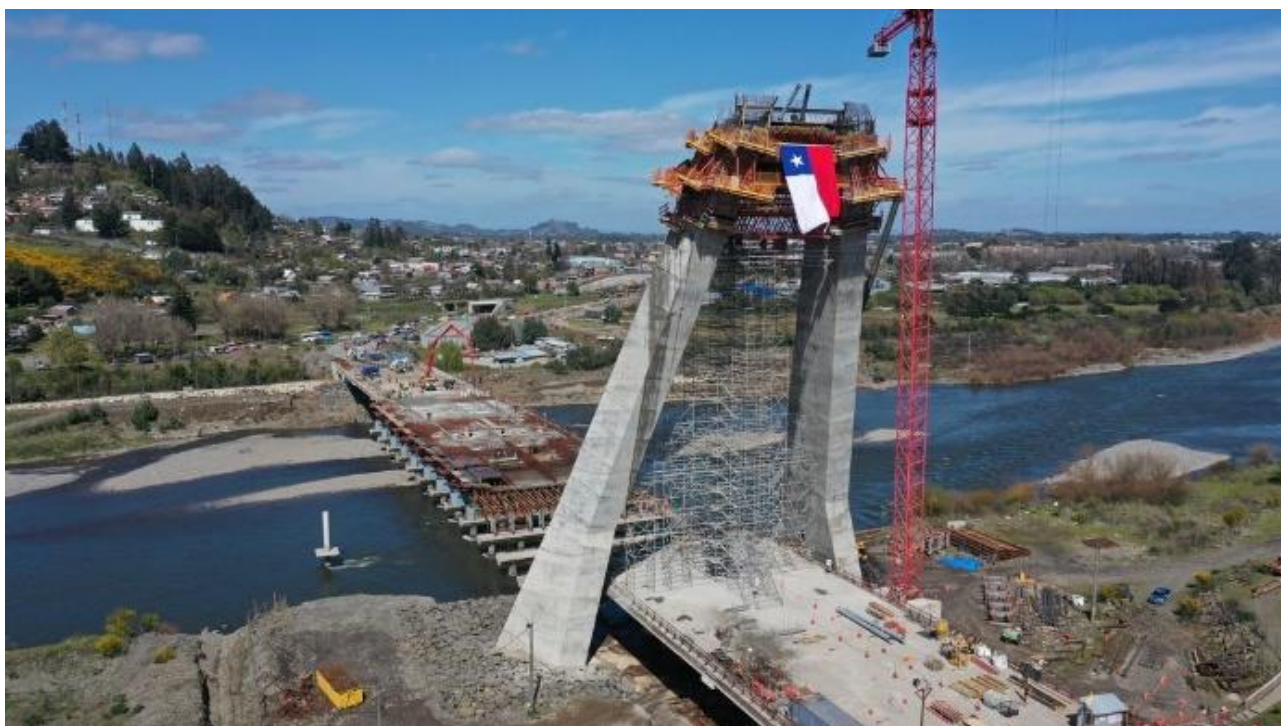


Figura 18. Vista trasera del mástil.

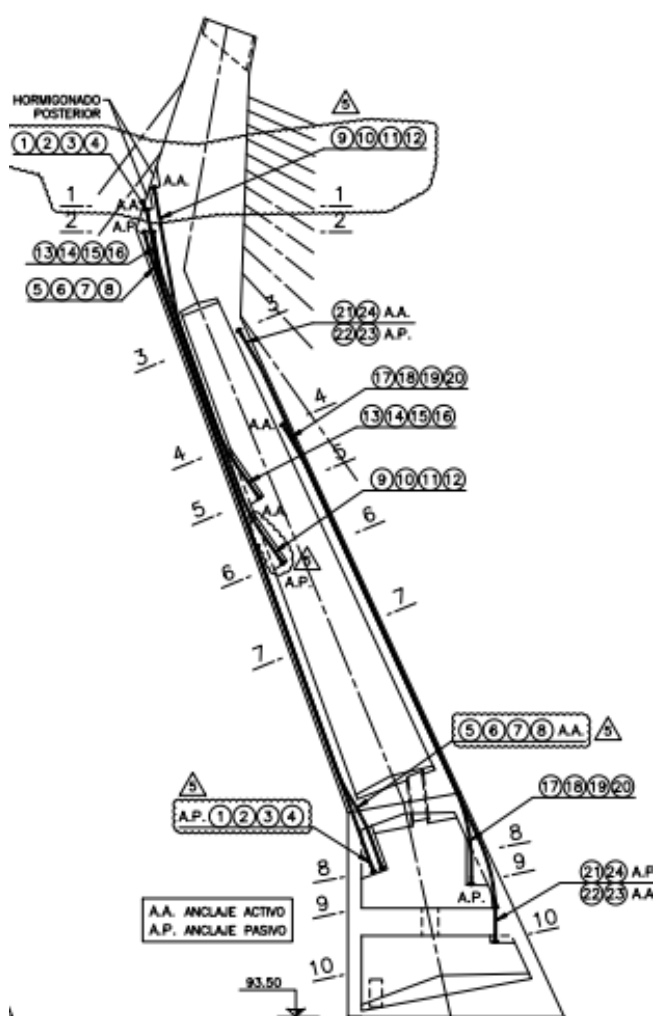


Figura 19. Sistema de pretensado interior del mástil.

interior del mástil y de los tubos de encofrado de los tirantes delanteros y de retenida (Fig. 21). Signo de la complejidad constructiva que plantea cada etapa, baste decir que el ciclo medio de construcción de cada una de ellas es de unas 3 semanas.

El despiece e instalación de la ferralla pasiva también reviste una elevada complejidad, no solo por su variable e irregular geometría, sino, también, por la necesidad de conjugar su posicionamiento con la de los tendones y anclajes del pretensado interior del mástil y con los tubos de encofrado de los tirantes delanteros y de retenida. Para resolver este reto ha sido preciso confeccionar un modelo CAD en 3D de la cabeza del mástil, por medio del cual se han podido



Figura 20. Trabajos de ferrallado en la cabeza del mástil.

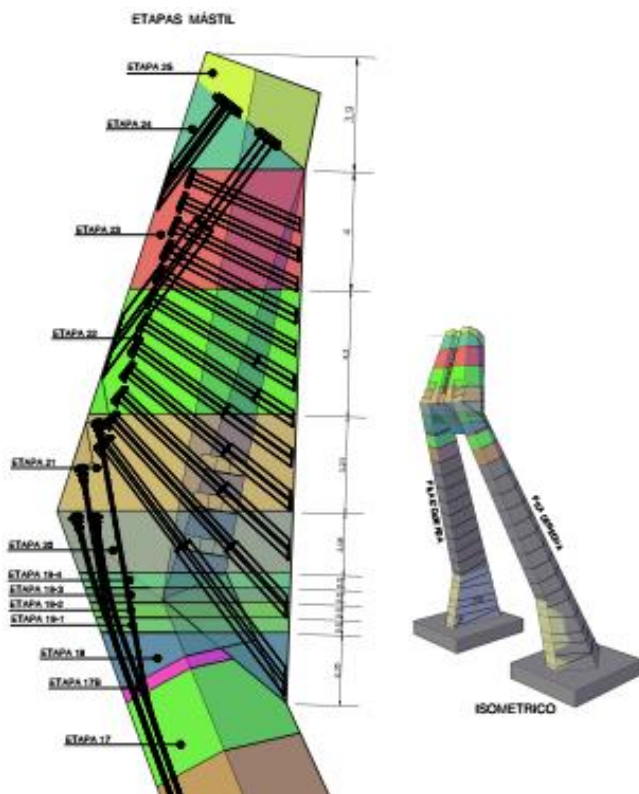


Figura 21. Etapas constructivas de la cabeza del mástil.
replantear de forma exacta todas y cada una de las posiciones de armadura de la cabeza del mástil, compatibilizándolas con los tendones del pretensado interior del mástil y con los tubos de encofrado de los tirantes delanteros y de retenida (Fig. 22).

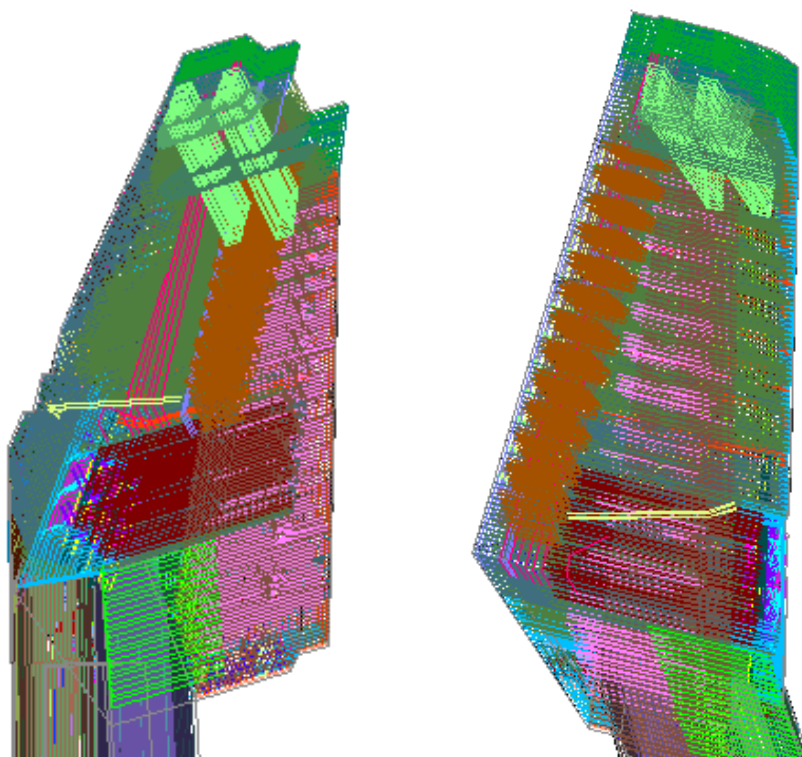


Figura 22. Modelo CAD en 3D de la armadura de la cabeza del mástil.

Agradecimientos

El puente TrengTreng-KayKay ha sido promovido por el SERVIU de la Región de la Araucanía, perteneciente al Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. La dirección de los trabajos ha corrido a cargo de D. Rodrigo Perales Aravena. La empresa constructora que llevó a cabo la primera parte de los trabajos fue PAICAVI, SPA. La finalización de los trabajos de construcción del puente ha sido encargada a la empresa BELFI.

Referencias

- [1] O. R. Ramos Gutiérrez, R. R. Pereira, et al, Puente Atirantado TrengTreng-KayKay en Temuco (Chile), VII Congreso de ACHE, La Coruña, Junio de 2017.
- [2] Subcomisión Permanente de Normas Sismorresistentes, Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07), Ministerio de Fomento, Madrid, 2007.
- [3] C. Rondon, Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón, Fabricación, Instalación, Protección, Gerdau AZA, Chile, 2005.