

Manual de inspección y mantención - puente atirantado TRENG TRENG KAY KAY

Inspection and maintenance manual - TRENG TRENG KAY KAY cable stayed bridge

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del
artículo:

Recibido
14-11-2023
Aceptado
16-04-2024
Publicado
25-08-2024

Palabras Clave:
Puente atirantado
Inspección
Mantención
Conservación
Monografía

Article history:

Received
14-11-2023
Accepted
16-04-2024
Available
25-08-2024

Keywords:
Cable-stayed
bridge
Inspection
Maintenance
Maintenance
Monograph

Tamara González¹, Óscar Ramón Ramos^{2,3}, Frank Schanack⁴
José Pablo Gacitúa¹, Felipe Olivares⁵

¹ PONTINEL SpA, Valdivia, Chile, pontinelspa@gmail.com

² ORRAMOS Ingeniería SL, Santander, España, oramos@orramoseng.com

³ Universidad de Cantabria, Santander, España, oscar.ramos@unican.es

⁴ Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, frank.schanack@uach.cl

⁵ COHESIONA SpA, Valdivia, Chile, fe.olivares.r@gmail.com

Resumen

El puente Treng Treng Kay Kay es un puente atirantado asimétrico de 240 metros que conecta las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Dado su carácter de puente no convencional, SERVIU Región de La Araucanía encargó un estudio especializado que entregara directrices necesarias para realizar sus inspecciones y mantenimientos, y servir como herramienta de referencia que respaldara técnicamente sus planificaciones. Con este fin, especialistas del Civilab UACH, de ORRAMOS SL y de PONTINEL SpA desarrollaron un Manual de Mantención compuesto de: una monografía detallada que recopila el inventario del puente consistente en 657 fichas de elementos estructurales y no estructurales; un plan de inspección que establece la frecuencia, tipo y metodología de las inspecciones requeridas para cada elemento; y un plan de mantención que define actividades específicas y frecuencias para conservar cada elemento de acuerdo con lo indicado en la normativa vigente, las especificaciones de los fabricantes, el estado del arte y la experiencia existente de las condiciones locales.

Abstract

The Treng Treng Kay Kay Bridge is a 240-meter asymmetric cable-stayed bridge that connects the municipalities of Temuco and Padre Las Casas. Given its non-conventional nature, SERVIU La Araucanía Region commissioned a specialized study to provide the necessary guidelines for its inspections and maintenance, and to serve as a reference tool to technically support its planning. To this end, specialists from Civilab UACH, ORRAMOS SL and PONTINEL SpA developed a Maintenance Manual consisting of: a detailed monograph that compiles the bridge inventory consisting of 657 cards of structural and non-structural elements; an inspection plan that establishes the frequency, type and methodology of the inspections required for each element; and a maintenance plan that defines specific activities and frequencies to maintain each element in accordance with current regulations, manufacturers' specifications, the state of the art and the existing experience of local conditions.

* Corresponding author at: Tamara González, PONTINEL SpA, Arica 2253, Valdivia, Chile.
E-Mail address: pontinelspa@gmail.com

RIOCI

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

Vol. 12, no. 02, pp. 1–6, Agosto 2024

1. Introducción.

La identificación de los trabajos necesarios para el mantenimiento preventivo y la conservación de estructuras fundamentales para la red vial, como los puentes, en combinación con una planificación adecuada para programar y presupuestar las actividades de mantenimiento, desempeñan un papel crítico a la hora de resguardar su operatividad a largo plazo. Esta estrategia no solo reduce el riesgo de costosas reparaciones, sino que también previene la necesidad de reemplazar por completo la estructura en el futuro.

En relación con el marco normativo, en Chile, el Manual de Carreteras (MOP 2022), elaborado por el Ministerio de Obras Públicas a través de la Dirección de Vialidad, establece operaciones, plazos y responsabilidades para las actividades de inspección y mantenimiento de puentes y otras estructuras. Los procedimientos descritos en el Manual de Carreteras (MC) y otras normativas, como la AASHTO *The Manual for Bridge Evaluation* (AASHTO 2022), son aplicables a todas las estructuras convencionales que cumplen con ciertas características estándar. Sin embargo, en el caso de puentes no convencionales, es posible que estos procedimientos no sean completamente aplicables debido a sus singularidades estructurales. En tales casos, puede ser necesario realizar un análisis exhaustivo y especializado que considere las particularidades específicas de cada caso.

En cuanto al ámbito administrativo, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) tiene la capacidad de ejecutar programas de conservación para partidas convencionales utilizando recursos sectoriales, sin depender de proyectos específicos que respalden estas actividades. Esto les permite llevar a cabo tareas como limpieza, reparación de baches, reemplazo de señalética, repavimentación, entre otras actividades, siguiendo los criterios y estándares establecidos en el Manual de Carreteras. En contraste, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y sus Servicios de Vivienda y Urbanización (SERVIU) no disponen de programas de conservación generalizados, fuera de conservaciones y reposiciones de pavimentos a través del programa de Mantenimiento Vial Urbano (MANVU). Esto implica que no pueden destinar recursos de forma autónoma a la conservación de puentes o de una estructura en particular, a menos que cuenten con un respaldo técnico concreto que les permita incluir estas actividades dentro de una iniciativa de inversión existente o una creada específicamente para este fin.

Teniendo en cuenta tanto los aspectos administrativos como técnicos descritos anteriormente, el SERVIU Región de La

Araucanía realizó un proceso de licitación con el objetivo de crear un Manual de Mantenimiento específico para el puente Treng Treng Kay Kay (Figura 1).

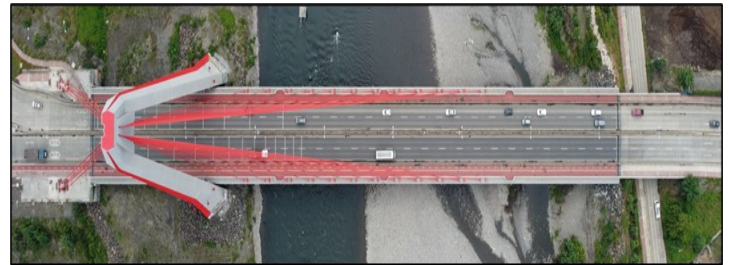


Figura 1. Vista aérea del puente Treng Treng Kay Kay.

Este manual se solicitó con la finalidad de proporcionar las directrices necesarias para llevar a cabo inspecciones y mantenimientos en el puente y servir como una herramienta de referencia que respalde técnicamente la planificación de sus actividades. En este contexto, los especialistas del Laboratorio de Ingeniería de Puentes de la Universidad Austral de Chile (Civlab UACH), de la empresa ORRAMOS Ingeniería SL y de la empresa PONTINEL SpA por encargo de la empresa COHESIONA SpA trabajaron en conjunto durante el segundo semestre de 2022 para elaborar un manual de mantenimiento para el puente atirantado que servirá de base para establecer prioridades y definir planes de acción.

1.1 Breve descripción sobre el puente

El puente Treng Treng Kay Kay, ubicado en la ciudad de Temuco, Región de La Araucanía, cruza el río Cautín, conectando las comunas de Temuco y Padre Las Casas (Figura 2). El objetivo de este puente era mejorar la interconexión entre las comunas y mitigar los problemas de congestión vehicular causados por la insuficiente capacidad vial de la época.



Figura 2. Ubicación del puente Treng Treng Kay Kay.

El puente Treng Treng Kay Kay es un puente atirantado asimétrico de 240 m de longitud, dividido en cinco vanos de diferentes dimensiones: 23 m, 27 m, 140 m (vano atirantado), 23 m y 27 m (Figura 3).

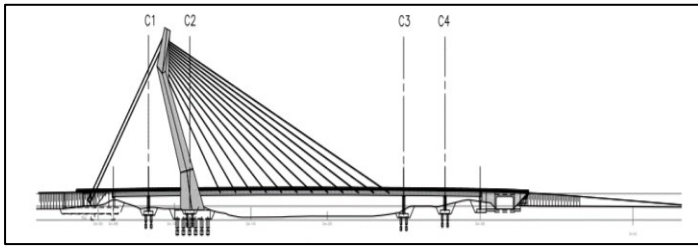


Figura 3. Vista lateral del puente Treng Treng Kay Kay, durante su diseño. (APIA XXI, 2015).

La sección transversal del tablero es de canto constante a lo largo de toda su longitud, consistente en una sección cajón bicelular de hormigón armado y pretensado de 2 m de canto total. La sección cajón, con almas laterales inclinadas, tiene una losa inferior de 14 m de ancho y voladizos laterales de 5,46 m que terminan en nervios macizos de hormigón donde se anclan los tirantes. De esta manera la plataforma posee en total un ancho de 27 m donde se ubican las dos calzadas de 8 m de ancho (dos pistas cada una), una mediana central de 1,0 m, una vereda de 1,9 m y otra vereda junto con una ciclovía de 3,4 m de ancho, como se muestra en la Figura 4.

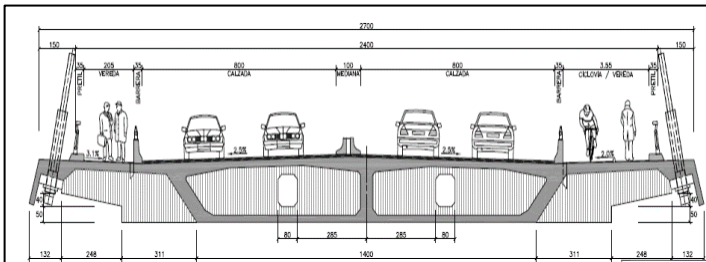


Figura 4. Puente Treng Treng Kay Kay, sección transversal tipo del tablero. (APIA XXI, 2015).

El mástil del puente de hormigón pretensado (Figura 5), consta de dos fustes poliédricos unidos por una cabeza común. La sección transversal del mástil es variable en ancho, con 15,77 metros en la base y 4,58 metros en la punta. La sección es pentagonal y hueca, con un espesor de pared de 1 metro. La cabeza del mástil tiene una forma variable. La altura de la estructura es de 72 metros (aproximadamente 63 metros sobre el tablero). La distancia entre los ejes de las dos partes del mástil, a nivel del suelo, es de 37,5 metros.



Figura 5. Mástil del puente Treng Treng Kay Kay, en vista general (© Civilab UACH).

Los anclajes superiores de los tirantes delanteros se ubican en un cuerpo de hormigón armado que conecta las dos partes de la estructura y ayuda a resistir los momentos flectores que se generan en el cambio de directriz del mástil. En el mástil se consideran fundaciones pilotadas mediante 60 pilotes de 180 cm de diámetro, divididos en dos grupos de 30 pilotes.



Figura 6. A la izquierda, cabezal del mástil, anclajes de tirantes delanteros y distribución de tirantes de retención. A la derecha, distribución de tirantes delanteros en cabezal del mástil (© Civilab UACH).

La estructura tiene dos planos de tirantes, cada uno con 12 tirantes delanteros y 4 tirantes de retención (Figura 6). Los tirantes delanteros se anclan en el vano central de 140 m distanciados uno de otro a 10 m. La colocación de tirantes corresponde al esquema abanico, con una separación vertical de los anclajes superiores de 1,0 m. Los tirantes están formados por un conjunto de cables o torones de acero galvanizado de 15,7 mm de diámetro cada uno.

2. Metodología

El trabajo que los autores realizaron bajo el contrato «Manual de mantenimiento puente Treng Treng Kay Kay» se puede dividir en tres apartados: (1) Confección de la monografía; (2) Elaboración de un plan de inspección; y (3) Desarrollo de un plan de mantenimiento. A continuación, se describen los aspectos técnicos principales de cada apartado.

3.1 Confección de la monografía

Para determinar el estado de conservación, identificar posibles problemas y definir medidas de mantenimiento, se requiere tener un conocimiento lo más amplio posible de los elementos

existentes. Con esta finalidad, se confeccionó una monografía detallada del puente Treng Treng Kay Kay, creándose un total de 657 fichas con elementos estructurales y no estructurales.

La metodología para confeccionar el catastro o monografía se dividió en los siguientes pasos:

- Recopilación de la información proporcionada por el mandante y de la normativa relacionada.
- Identificación de los componentes y desarrollo de una secuencia de medición y registro.
- Preparación de notas, formularios, dibujos, herramientas y equipos.
- Planificación de arreglos necesarios para el acceso y revisión de medidas de seguridad.
- Registro y medición de elementos estructurales y no estructurales durante visitas a terreno.
- Categorización y creación de fichas individuales para cada elemento.

Debido a la gran cantidad de información y con la finalidad de facilitar su búsqueda, se realizó una categorización de los elementos dividiéndolos en «Módulos» y «Submódulos». Estos se establecieron en función del elemento o su ubicación dentro de la estructura. Utilizando las definiciones y categorías indicadas en la Tabla 1, se generó una base de datos con las características de cada elemento de los cuales fue posible recopilar información.

Tabla 1. Módulos y submódulos establecidos en la base de datos.

Código	Módulo	Submódulos
0000	Tirantes	Cables - Tablero (anclaje) - Mástil (anclaje) - Accesorio
1000	Mástiles	Mástil derecho - Mástil izquierdo - Cabezal
2000	Superestructura	Diafragma - Alma - Losa superior - Losa inferior - Pretensado
3000	Infraestructura	Cepa - Estribo - Fundaciones
4000	Equipamiento	Junta - Apoyo - Drenaje - Pavimento - Seguridad - Iluminación - Mobiliario
5000	Seguridad Vial	Sistema de contención - Señalética
6000	Acceso	Acceso norte - Acceso sur
7000	Cauce	Cauce - Defensa fluvial
8000	Monitoreo	Mástil - Tablero

Las fichas individuales (ejemplos en Figura 7) poseen información sobre las características técnicas de los elementos e imágenes de aquellos que fueron visibles durante la visita a terreno.

Componente principal: Cables Elemento: Tirante Retenido 1 izquierdo (TR01) Código del elemento: SUP_TR_RET_0481 Cantidad: 1 un Material: Acero Dámetro del tubo: 200 mm Dámetro nominal de cordones: 127 cordones de 0.8" (D nominal 15.7 mm) Longitud libre: 85.567 m Acero de cordones: Grado: 270 ASTM A413/A413M Tensión de ruptura: 19000 kg/cm² Límite elástico: 17100 kg/cm² Descripción: Tirantes suministrados por Freyssinet	FOTO: 	Elemento N°: 4011 Código del elemento: EQU_APO_EST_4011 FOTO: 
--	---	---

Figura 7. Ejemplos de fichas de catastro desarrolladas por cada elemento (© Civilab UACH).

3.2 Elaboración de un plan de inspección

Para que la información resultante de una inspección sea fiable, es crucial establecer criterios objetivos. Esto garantiza que los resultados obtenidos sean confiables y comparables, sin importar las condiciones o el personal que realice la inspección. Con este fin, el Plan de Inspección desarrollado describe las labores de inspección durante la vida útil del puente, estandariza la metodología y los criterios de evaluación de daños y establece la periodicidad para cada tipo de inspección.

La vida útil de una estructura, corresponde al periodo de tiempo, a partir de la fecha en que finaliza su ejecución, durante el cual debe cumplir la función para lo que fue construido, contando siempre con una conservación adecuada, pero sin requerir operaciones significativas de rehabilitación. Para el puente Treng Treng Kay Kay se estableció una vida útil de diseño de 50 años conforme a los criterios recogidos en el Manual de Carreteras (MOP 2022). En este contexto y debido a la falta de una inspección inicial, se programaron de forma mensual inspecciones para los 50 años posteriores a la primera inspección básica y no posterior al término de su ejecución, esquematizado en la Figura 8.

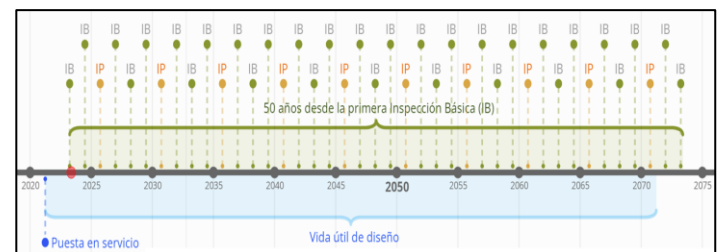


Figura 8. Línea de tiempo establecida para Inspecciones Principales (IP) e Inspecciones Básicas (IB).

3.2.1 Tipología y periodicidad de las inspecciones

El plan describe los tipos de inspecciones que se adoptaron para el puente Treng Treng Kay Kay y su periodicidad. Esto se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipología de inspecciones, descripción y periodicidad.

Tipo	Descripción	Periodicidad
Inspección Inicial	Primera inspección que se realiza después de la construcción del puente. Revisa el estado de todos sus elementos y registra las deficiencias o defectos existentes que servirán como punto de partida para futuras inspecciones.	1 vez, después de la construcción.
Inspección Básica	Tiene por objeto detectar deterioros existentes en el puente con la antelación suficiente para prevenir que degeneren en daños graves. Se lleva a cabo mediante el reconocimiento visual de toda la superficie del puente, el control del estado y funcionamiento del equipamiento del puente.	Cada 15 meses (diferentes estaciones climatológicas).
Inspección Principal	Inspección visual minuciosa del estado de todos los elementos, realizada por personal especializado. Comprueba el estado de la estructura y sus elementos analizando los daños o deterioros existentes y su evolución desde la última inspección realizada. Se utilizan medios de acceso especiales para llegar a zonas sin visibilidad directa.	Cada 5 años.
Inspección Especial	Tipo de inspección que no se realiza de forma periódica o programada, sino que se plantea después de detectar daños importantes en una inspección principal o como consecuencia de una situación singular, como impactos de vehículos o desastres naturales. Revisa exhaustivamente el elemento dañado, incluyendo un examen visual, con la posible utilización de equipos de auscultación y toma de muestras y ensayos de caracterización de materiales. Debido a su naturaleza, no es posible sistematizarla.	Tras la detección de daños de importancia o consecuencia de una situación singular.

3.2.2 Procedimiento de inspección

El procedimiento de una inspección incluye, a modo general, los siguientes pasos: determinación de los accesos, evaluación de riesgos, recorrido superficial para una visión de conjunto, desarrollo de la inspección sistemática y observación de los efectos en la estructura del paso de vehículos pesados. La planificación incluye recopilar datos generales del puente, estudiar la información de inspecciones anteriores y preparar las fichas de inspección. En la Figura 9, se muestra parte de la ficha de Datos Generales, donde se recogen daños y observaciones relevantes.

INSPECCIÓN PRINCIPAL			
DATOS ADICIONALES DE LA INSPECCIÓN		OBSERVACIONES	
DATOS GENERALES			
FECHA DE INSPECCIÓN			
INSPECTOR			
DATOS AMBIENTALES			
TEMPERATURA			
HUMEDAD			
CONDICIONES ATMOSFERICAS			
DATOS SOBRE EL ESTADO DE CONSERVACIÓN			
ÍNDICE ESTIMADO			
INSPECCIÓN ESPECIAL (S/N)			
MOTIVO			
LISTA DE CHEQUEO			
ELEMENTO	INSPECCIÓN	HORA	OBSERVACIÓN
Tablero			
Fundaciones			
Barandales			

Figura 9. Hoja de «Datos Generales» de la ficha de registro de una Inspección Principal.

En cada ficha se debe completar la siguiente información:

- Elemento: denominación del elemento donde se registra el deterioro.
- Material: material del elemento en el que se registra el deterioro.
- Daño: deterioro observado en ese elemento.
- Índice del daño: se evalúa el daño de acuerdo con tablas incluidas en el plan.
- Medición: medición del daño y unidades correspondientes.
- Accesibilidad: los criterios para asignar la accesibilidad se definen en el Plan de Inspección.
- Fotos: en esta casilla se debe apuntar el código de la fotografía.

3.2.3 Medios humanos y medios auxiliares para realizar las labores de inspección

Para todos los tipos de inspecciones, se define que el equipo debe contar con un ingeniero civil o ingeniera civil, con experiencia específica en diseño, construcción y/o inspección de puentes. En el plan de inspección se define la cantidad de años de experiencia y requerimientos específicos para cada tipo de inspección. En cuanto a los medios auxiliares, se define lo resumido en la Tabla 3.

Tabla 3. Medios auxiliares para cada tipo de inspección.

Tipo de Inspección	Medios auxiliares
Inspección Básica	Escalera de mano, prismáticos, martillo, bloc de notas, bolígrafo y fichas de inspección, y elementos de señalización y seguridad.
Inspección Principal	Equipos de seguridad, herramientas y dispositivos especializados, dron, tizas de colores, fisurómetro óptico, lupas micrométricas, plomadas, cuerdas, termohigrómetro, entre otros.
Inspección Especial	Puede ser necesario el uso de camiones de inspección y mantenimiento, plataformas elevadoras y grúas de largo alcance.

3.2.4 Principales daños y deterioros

Con la finalidad de evaluar de forma sistemática el estado de la estructura y contar con un sistema lo más objetivo posible, en el Plan de Inspección se clasifica una lista de daños y deterioros que permite identificar de manera precisa y detallada los tipos de daños que eventualmente podrían presentarse en el puente. En la Tabla 4 se puede observar un resumen de la clasificación realizada.

Tabla 4. Resumen clasificación de daños y deterioros

Ubicación del daño	Ejemplo de daños
En hormigón armado y pretensado	Deterioros originados por factores químicos o biológicos; Deterioros por corrosión de las armaduras; Fisuración de la losa; Nidos; Desprendimientos de hormigón.
En estribos	Asiento; Giro en eje transversal o longitudinal; Empuje excesivo sobre los muros; Ineficacia de las losas de transición; Resguardo insuficiente entre tablero y estribo
En cepas y mástil	Asiento; Giro de cepa según un eje transversal; Giro de cepa según un eje longitudinal; Fisuración por flexión; Fisuración por pandeo; Fisuración por compresiones excesivas; Fisuración por cortante; Patología de las fundaciones
En aparatos de apoyo	Corrosión o degradación; Despegue; Pérdida de la posición teórica original; Exceso de compresión, deformaciones o movimientos; Patinas; Rotura; Falta de apriete o ausencia de pernos; Defectos y deterioros en la base de apoyo o cama de nivelación.
En juntas de dilatación	Degradación del material; Movimiento impedido; Falta de material de la junta; Rotura de junta; Falta de estanqueidad; Fisuras en el cajeado de la junta.
En tirantes	Protección contra la corrosión del anclaje.
En barreras y barandas	Rotura, abolladura o deformación; Mal estado del tratamiento anticorrosión; Corrosión; Ausencia o deterioro de elementos de unión y anclaje.
En pavimento	Grietas y discontinuidades; Deformaciones; Desgaste; Deslizamiento del pavimento; Baches y hundimientos; Ondulaciones; Exudación del ligante.
Impermeabilización	Humedades, filtraciones o eflorescencias.
En el sistema de drenaje	Insuficiencia; Falta de pendiente longitudinal/transversal; Obstrucciones; Roturas; Fallos en estanqueidad; Tubos de longitud o inclinación insuficiente.
En la instalación de iluminación	Mal estado tratamiento anticorrosivo; Corrosión; Pérdida de material cama de nivelación; Abolladuras Daño en la canalización; Defecto en el anclaje.

3.2.5 Elementos y parámetros críticos a efectos de inspección y control

Si bien el alcance de las inspecciones debe abarcar el conjunto de elementos del puente, en el Plan de Inspección se destacan los elementos que se consideran críticos a efectos de inspección y control, en específico para el Puente Treng Treng Kay Kay. En el plan se indican sus características y su ubicación en la estructura a través de imágenes (ejemplo en Figura 10).

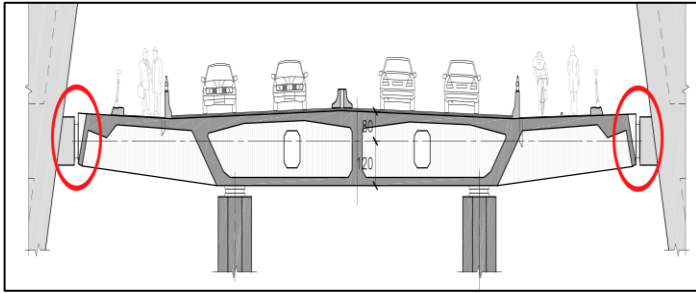


Figura 10. Imagen incluida en Plan de Inspección. Indica de forma referencial ubicación de aparatos de apoyo de neopreno zunchado para la transmisión de carga horizontal entre tablero y mástil.

3.3 Desarrollo de un plan de mantenimiento

En general todos los elementos de un puente requieren tareas de mantenimiento y conservación en mayor o menor medida. En una primera clasificación se pueden identificar los elementos reemplazables y los no reemplazables siendo los primeros, a priori, los que requieren mayores recursos y planificación para afrontar las tareas de mantenimiento y conservación, ya que debido a que su vida útil es inferior a la vida en servicio prevista para el puente, deberán ser sustituidos por otros respetando los plazos marcados por el fabricante. Asimismo, se valora otros criterios de reemplazo como la compatibilidad del elemento con nuevos reglamentos o su funcionalidad comparada con nuevas soluciones.

El plan de mantenimiento y conservación se ha definido cuidadosamente de acuerdo con lo indicado en la normativa vigente, las especificaciones de los fabricantes, el estado del arte y la experiencia existente de las condiciones locales. Estos factores han sido considerados para determinar las frecuencias de las actividades de mantenimiento, asegurando así la efectividad y eficiencia de las acciones de conservación necesarias para preservar la integridad y funcionamiento del puente. La Figura 11 muestra parte del cronograma definido en el Plan de Mantenimiento del puente Treng Treng Kay Kay.

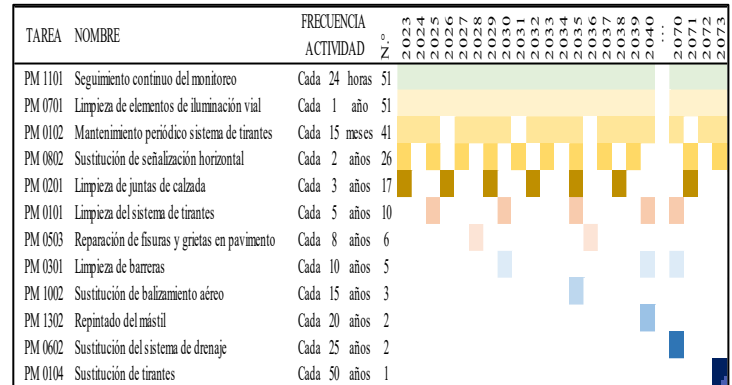


Figura 11. Fragmento del cronograma de mantenimiento anual para el puente Treng Treng Kay Kay.

Específicamente en lo que respecta a la mantención de los tirantes, se ha llegado a un consenso con el mandante para realizar mantenimientos con una frecuencia de 15 meses, en lugar de los 12 meses indicados por el fabricante, tomado considerando la falta de condiciones ambientales agresivos en su ubicación.

En el Plan de Mantenimiento se definió dos tipos de labores necesarias:

- **Labores mantención:** labores que deben realizarse periódicamente para prevenir el deterioro de los componentes y la renovación de elementos que han agotado su vida útil.
- **Labores de conservación:** reparaciones y recuperaciones de elementos dañados debido a causas accidentales. Los trabajos de conservación se planifican después de identificar el deterioro durante las inspecciones.

3.3.1 Elementos susceptibles de mantención y conservación

En general todos los elementos del puente Treng Treng Kay Kay requieren tareas de mantención y conservación en mayor o menor medida. En una primera clasificación se identificaron los elementos reemplazables (cuya vida útil es inferior a la vida en servicio prevista para el puente y deben ser sustituidos por otros) y los no reemplazables (elementos estructurales mayores) siendo los primeros, los que requieren mayores recursos y planificación.

3.3.2 Estimación de la vida útil de cada elemento

En el Plan de Mantención para el puente Treng Treng Kay Kay se establece una vida útil estimada para cada componente que puede requerir sustitución, permitiendo incorporar estas tareas en el cronograma de actividades y poder planificar su reemplazo. Los elementos susceptibles de sustitución y su vida estimada se relacionan en la Figura 12.

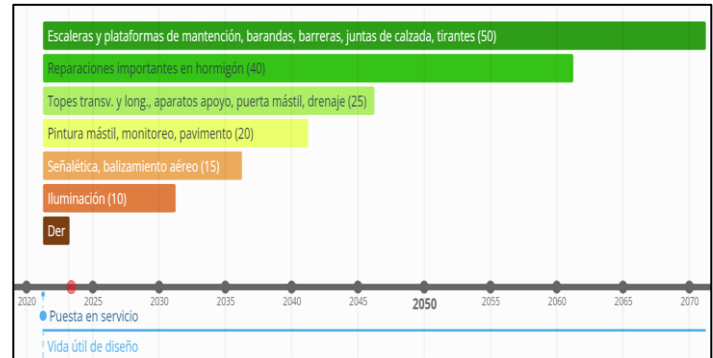


Figura 12. Elementos susceptibles de sustitución y su vida estimada.

3.3.3 Plan de mantención y conservación

En el Plan de Mantención se definen actividades específicas que deben realizarse de forma periódica en los elementos del puente Treng Treng Kay Kay, siguiendo las indicaciones del fabricante o de la normativa vigente. Se clasifican las actividades por su ubicación en la estructura (superestructura, infraestructura y equipamiento), se definen las frecuencias de ejecución y se define la cantidad de veces que esta actividad se debe realizar a lo largo de la vida útil del puente.

3.3.4 Planificación y ejecución de la mantención

En el Plan de Mantención se describen los procedimientos y responsabilidades para su planificación y ejecución. Se indican los requerimientos para el equipo profesional que lidere estas tareas y se establecen los pasos a seguir para la planificación anual y mensual, definiendo un cronograma detallado de las labores de mantención anuales. Para casos accidentales, cualquier daño detectado en los elementos del puente debe ser reparado de inmediato, independientemente de su frecuencia de mantención. La Tabla 5 resume las tareas para cada tipo de planificación.

Tabla 5. Resumen de pasos a seguir durante las planificaciones anuales y mensuales.

Panificación Anual	Planificación Mensual
1. Revisar el calendario anual de mantenimiento, considerando las tareas retrasadas y la gravedad de los defectos encontrados en las inspecciones. 2. Ajustar el calendario anual de mantenimiento según los criterios mencionados anteriormente. 3. Definir los recursos necesarios para llevar a cabo el calendario de mantenimiento propuesto. 4. Revisar periódicamente el calendario anual de mantenimiento para medir su progreso y asegurar que se cumpla en la fecha prevista. 5. En caso de que no se cumpla el calendario anual de mantenimiento, se deben justificar las desviaciones y proponer un calendario alternativo.	1. Realizar las actividades del Calendario de Mantención Anual, incluyendo las urgentes, pendientes y no previstas necesarias. 2. Planificar basándose en la Lista de Labores de Mantención, considerando la urgencia y gravedad de deficiencias. Se debe procurar no exceder el presupuesto previsto. 3. La programación mensual debe ser aprobada por el profesional encargado del contrato de mantenimiento del puente Treng Treng Kay Kay. 4. Prestar especial atención a las labores atrasadas para asegurar los niveles de servicio y la correcta realización de los trabajos.

3.3.5 Fichas de procedimientos de mantenimiento y conservación

Para cada una de las actividades indicadas en el Cronograma de Mantenimiento Anual, el Plan de Mantenimiento presenta fichas de procedimientos específicas, que indican el procedimiento paso a paso, las tareas a desarrollar, el propósito de la actividad, la frecuencia, el equipamiento y personal necesario y las condiciones de seguridad, entre otros. En la Figura 13 se incluye un fragmento de esta ficha.

MANTENCIÓN DEL PUENTE TRENG TRENG KAY KAY	
PROCEDIMIENTO: PM 101 Denominación: LIMPIEZA DEL SISTEMA DE TIRANTES	
Actividad: Limpieza del sistema de tirantes	Tarea a desarrollar: Eliminar basura y suciedad adherida
Propósito: Mantener la estética del puente Facilitar la detección de defectos en los tirantes	Frecuencia de la actividad: Cada 5 años
Equipamiento auxiliar: Camión de mantenimiento; Grúa sobre terreno; Cesta de mantenimiento; Equipo de limpieza; Equipo de agua a presión	Personal necesario: 1 operador de camión; 1 operador de grúa; 1 operador de limpieza
Seguridad/ Otras condiciones: Equipos de protección individual para trabajos en altura, casco, gafas de seguridad, ropa adecuada de trabajo. Se requiere equipo de trabajo en altura para limpieza de vainas de tirantes	
Procedimiento: Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad	

Figura 13. Fragmento de ficha del procedimiento PM101: Limpieza del sistema de tirantes.

3.3.6 Contratos específicos para mantenimiento y conservación

Dado que existen algunos componentes del puente de una muy alta especificidad, como es el caso de los tirantes y el sistema de monitoreo, entre otros, que implican el uso de ciertas patentes y conocimientos técnicos reservados, su mantenimiento debe ser encargada a las empresas representantes o autorizadas por el fabricante. El Plan de Mantenimiento indica cuáles son los contratos que deben realizarse de forma específica, para qué componentes y las indicaciones para cada uno de estos.

3.3.7 Otras actividades relacionadas con la mantención y la conservación

En el Plan de Mantenimiento se establece la indicación de mantener registros actualizados de las diversas actividades relacionadas con la conservación del puente, como el registro de situaciones accidentales, reparaciones realizadas, datos de tráfico, transportes especiales permitidos y desvíos de tránsito.

4. Conclusiones

El estudio realizado dio como resultado un Manual de Mantenimiento, que tiene como finalidad proporcionar directrices para llevar a cabo inspecciones y mantenimientos en el puente atirantado Treng Treng Kay Kay.

Basado en el trabajo realizado se puede concluir que:

- **Conclusión 1.** La identificación de los trabajos y una planificación adecuada son esenciales para el funcionamiento a largo plazo de los puentes.
- **Conclusión 2.** Una monografía exhaustiva y precisa de todos los elementos del puente es fundamental para obtener un conocimiento completo de su estructura.
- **Conclusión 3.** Un plan de inspección con frecuencias y criterios estandarizados es crucial para obtener resultados confiables y comparables, independientemente de las condiciones o el personal involucrado.
- **Conclusión 4.** Al definir actividades específicas y sus frecuencias para cada elemento, un plan de mantenimiento facilita la programación y el presupuesto de las tareas de mantenimiento.
- **Conclusión 5.** Dificultades en la accesibilidad durante el estudio, resaltan la necesidad de integrar soluciones para un acceso adecuado a todas las partes críticas de la estructura desde las etapas iniciales del diseño.
- **Conclusión 6.** El estudio produjo más de 650 fichas detalladas sobre elementos estructurales y no estructurales. Para evitar pérdida de información valiosa, se sugiere solicitar esta monografía como producto final al contratista a cargo de la ejecución de la obra.
- **Conclusión 7.** Debido a la extensión del manual, para futuros proyectos similares, se sugiere referirse a las normativas vigentes para operaciones convencionales y enfocar los esfuerzos en elementos estructurales singulares.
- **Conclusión 8.** Se sugiere desarrollar manuales específicos solo para casos particulares y no convencionales que requieran información especializada, ya que, en la mayoría de los casos, existen directrices claras sobre las actividades de mantenimiento adecuadas.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Servicio de Vivienda y Urbanización Región de La Araucanía, en especial al responsable del Contrato Don Rodrigo Perales, por su apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

6. Referencias

- AASHTO (2022). *The Manual for Bridge Evaluation 2022 Interim Revisions*. 3era edición 2018, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA.
- MOP (2022). *Manual de Carreteras*. Dirección de Vialidad, Dirección General de Obras Públicas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago de Chile.
- APIA XXI (2015). *Tercer Puente sobre el Río Cautín, General Aldunate, Provincia Cautín*. Planos del proyecto, pp. 1-173, Dirección de Vialidad Región de la Araucanía, Departamento de Proyecto, Área de Puentes, Temuco, Chile.