

Empuje del tablero metálico del puente de Bagebi en Georgia.

Launching of the Bagebi steel bridge in Georgia

Santiago Cabruja Reglá^a, Raimon Rucabado Jiménez^b, Albert Bailo Fernández^c,
Enrique Martí Bandrés^d, Alejandro De Semir De La Sotilla^e

^a Ingeniero Civil. Mekano4. Jefe de proyectos. scabruja@mekano4.com; ^b Ingeniero Civil. Mekano4. Director de Proyectos Especiales. rucabado@mekano4.com; ^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Mekano4. Director de Ingeniería. abailo@mekano4.com; ^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Mekano4. Departamento de Ingeniería. emarti@mekano4.com; ^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Mekano4. Director Unidad de Negocios Internacional. adeseimir@mekano4.com

RESUMEN

Este proyecto explora la implementación de un puente de acero corten de 1.500 toneladas en Tiflis, Georgia, donde se enfrentaron desafíos únicos debido a restricciones de diseño y del lugar. La estructura se adaptó para el empuje sobre estribos preconstruidos con juntas de conexión en las alas inferiores de las vigas. Se utilizó un sistema dual de soporte con carros de trenes y balancines con pastillas deslizantes, logrando un movimiento controlado y un descenso asimétrico con gatos hidráulicos. La imposibilidad de usar una nariz de lanzamiento llevó a la adopción de una torre de tirantes provisional.

ABSTRACT

This project details the implementation of a 1,500-tonne weathered steel bridge in Tbilisi, Georgia, overcoming unique design and site constraints. The structure was adapted for pushing over pre-constructed abutments with variable-height joint connections at the beam flanges. A dual support system involving train trolleys and neoprene sliding pads over rocker bearings was utilized, enabling controlled movement and asymmetrical descent using hydraulic jacks. The inability to use a launching nose led to the adoption of a temporary stay system.

PALABRAS CLAVE: Empuje puentes, Tirantes provisionales, Desafíos de diseño, Balancines.

KEYWORDS: Steel bridge launching, Temporary stay system, Engineering challenges, Rocker bearings.

1. Introducción

En este trabajo se detalla el lanzamiento del tablero de un puente de tres vanos, multijácena, en Tiflis (Georgia), abordando desafíos únicos por restricciones de diseño y de su emplazamiento.

El tablero, de acero corten, obedecía a un diseño tradicional de puentes metálicos de Georgia, que no podía modificarse. Además, su fabricación en taller estaba muy avanzada cuando se planteó su empuje.



Figura 1. Puente de Bagebi finalizado.

El empuje se realizó en bajada y sobre los estribos ya finalizados. Estribos que ya incluían el espaldón y tierras compactadas. Así pues, el reto de este empuje consistió en lanzar un tablero metálico, no concebido para ser empujado, teniendo en cuenta todos los condicionantes a una cota muy por encima de la final y con sistema de retenida.

La maniobra de empuje se abordó empleando bogies de ferrocarril sobre raíles en el parque de montaje, almohadillas de neopreno y teflón sobre balancines, en torres provisionales de pilas y estribos definitivos, y un sistema de atirantamiento provisional que controlaba la deflexión en el frente del tablero.

El tablero estaba constituido por de 3 vanos de igual longitud 78m, cuatro jácenas paralelas de gran canto y con fuertes contraflechas. Cada jácena estaba formada por diversos tramos de viga, atornillados entre sí. Entre otros, uno de los principales problemas de este empuje fue lidiar con las placas de conexión inferiores de las juntas de esas jácenas y toda su tornillería.

Otro problema a resolver fue la cota de lanzamiento, que obligó a diseñar y fabricar torres provisionales sobre estribos y pilas definitivas. Torres que debían ser capaces de resistir los esfuerzos que se generaban en el empuje y que permitiesen su desmontaje durante la maniobra de descenso final, con el tablero encima.

2. Restricciones de diseño y emplazamiento.

La estructura, compuesta de acero corten, se adhiere a un paradigma tradicional de puentes metálicos georgianos, lo cual restringe cualquier modificación estructural post-diseño inicial. Este enfoque conservador en el diseño implicó que las técnicas de empuje convencionales no fueran viables sin intervenciones ingeniosas adicionales.

El proceso de empuje del tablero fue particularmente desafiante, realizándose sobre

estribos ya completados que incorporaban espaldones y terraplenes compactados, configurando una situación donde la manipulación debía ser excepcional debido a que la estructura se encontraba a una cota muy superior a su posición final.



Figura 2. Torres provisionales estribo A1.

Otra de las exigencias del cliente fue el uso de un sistema de bogies ferroviarios sobre raíles en el parque de montaje, teniendo estos, y su vía férrea, una capacidad de carga relativamente baja. El método de empuje se adaptó a este requerimiento, empleando diversos calces en los bogies para distribuir uniformemente la carga en cada uno y ajustando la altura de los balancines durante el empuje para asegurar así el rango de carga deseado.

Las jácenas del tablero, fabricadas con una gran contraflecha, disponen de un ala inferior de anchura y espesor variable y estaban compuestas por múltiples segmentos atornillados entre sí. Las uniones atornilladas en el ala se materializan con tapa-juntas de distintos espesores y sus correspondientes tornillos aunque la disposición de la tornillería no había sido diseñada para emplear el método de empuje y no permitía deslizar directamente sobre apoyos provisionales. Estos condicionantes presentaron también retos adicionales en la concepción del método de empuje, debiendo solucionar la manera de tratar con dichas conexiones, las placas de unión o tapa-juntas y la tornillería. Algunas pudieron transformarse, reforzándolas y practicando un camino entre filas de tornillos, aunque otras no.

2.1. Limitaciones de diseño

2.1.1. Restricciones de diseño inherentes al proyecto

El puente de Bagebi fue diseñado inicialmente sin considerar el método de lanzamiento incremental, lo que generó restricciones significativas una vez decidido este método para su instalación. Las configuraciones de soportes múltiples durante el empuje impactaron negativamente las secciones del tablero, especialmente aquellas que no estarían apoyadas en su posición final.

La configuración temporal durante el lanzamiento aumentó los momentos de flexión en hasta un 20%, comparado con la configuración permanente, lo que requirió un rediseño de las juntas y un refuerzo adicional de las secciones críticas.

2.1.2. Modificación y refuerzo de las secciones del tablero.

Debido a las restricciones de diseño y a la inadecuación del diseño original para el lanzamiento, fue necesario modificar y reforzar el tablero del puente. Esto incluyó la adición de rigidizadores transversales y el refuerzo de las juntas para resistir los incrementos de esfuerzo durante el lanzamiento. Modificación aceptada por la propiedad, dado que el diseño aprobado no permitía modificar ni las alas ni el alma de las vigas.



Figura 3. Conexión junta ala inferior.

Las juntas experimentaron incrementos en las solicitaciones de hasta 15-25% por encima de los de servicio, lo que requirió el uso de placas de conexión más robustas y una revisión del diseño de las soldaduras y los pernos.

2.1.3. Sistema de lanzamiento y sus desafíos.

El sistema de empuje diseñado para el tablero incluyó un sistema de tirantes temporales para manejar el gran voladizo frontal durante el lanzamiento. Este sistema fue crítico para mantener la integridad estructural y ajustar la geometría del tablero en tiempo real.

La utilización de un sistema de tirantes de este tipo aporta grandes ventajas para lidiar con el voladizo frontal especialmente en un puente tan pesado como este y donde no se puede utilizar una nariz. No obstante, el mismo sistema incrementa de una forma muy notable los esfuerzos en el vano siguiente y en las secciones debajo de la torre. Así pues, la carga de los tirantes debía regularse muy a menudo para limitar la deflexión máxima bajo la torre a un valor determinado.

La deflexión máxima permitida durante el lanzamiento fue limitada a 30 mm en el centro del vano, controlada mediante el ajuste de la tensión en los cables de los tirantes.



Figura 4. Tablero del puente Bagebi.

2.1.4. Implementación de nuevas tecnologías y métodos.

El proyecto incorporó el uso de modelos de elementos finitos (MEF) para simular el proceso de lanzamiento y ajustar las estrategias de construcción en tiempo real. Esto permitió una implementación más eficiente y segura del método de lanzamiento incremental.

Se utilizaron modelos de MEF para prever el comportamiento del puente bajo diversas configuraciones de carga, asegurando que todas

las fases del lanzamiento se mantuvieran dentro de los límites seguros de operación.

2.2. Limitaciones de emplazamiento.

En la ubicación del parque de ensamblaje, se encontraban numerosas instalaciones de servicios como conexiones sanitarias, eléctricas, energéticas y sistemas de alcantarillado, que impedían ensamblar el tablero a una cota similar a la final. Por este motivo y porque los espaldones de los estribos ya estaban contruidos (lo que impidió el uso de una nariz de empuje), fue necesario realizar el lanzamiento a una cota mucho más elevada que la definitiva (Lo que requirió incrementar la altura de las torres bajo los balancines) y el uso de una torre de atirantamiento provisional.

3. Torre de atirantamiento provisional.

La idea de un sistema de tirantes provisionales es añadir un mecanismo al tablero que permita elevar su extremo frontal. El elemento encargado de levantar el extremo frontal es el "Tirante Principal". Al aplicar fuerza a este tirante, generamos una fuerza de elevación "FvF" capaz de levantar el extremo frontal. La reacción se transfiere a otras partes del tablero a través de una torre de tirantes temporal y un tirante trasero.

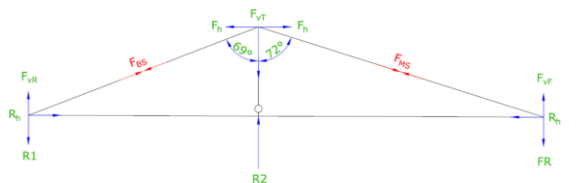


Figura 5. Esquema de fuerzas de la torre de atirantamiento provisional.

El esquema de fuerzas puede verse en la figura 5. Al aplicar una fuerza en el tirante trasero "FBS", la torre se inclina hacia atrás y este movimiento tensiona el tirante principal que adquiere la fuerza "FMS". Las fuerzas en los

tirantes comprimen la torre con una fuerza "FVT" e intentan levantar el tablero en el extremo frontal y en el anclaje inferior del tirante trasero. Las fuerzas horizontales en la torre se compensan y lo mismo sucede en el tablero, que es comprimido por estas fuerzas.



Figura 6. Torre de tirante provisional puente Bagebi.

La parte trasera del tablero es más pesada que la parte frontal, por lo tanto, la parte trasera del tablero actúa como contrapeso. Por lo tanto, cuando se aplica fuerza en el tirante trasero, el extremo frontal se levanta hacia arriba.

El sistema nos permite elevar el extremo frontal a la posición deseada para pasar por encima de los apoyos deslizantes cuando se entra en una nueva pila. Dependiendo de la altura de la elevación, la reacción frontal "FR" adopta un valor u otro y se reduce el momento negativo sobre la ultima pila cargada. El juego entre limitar el momento negativo del voladizo manteniendo el límite de deflexión debajo de la torre atirantada nos permite el empuje con el mínimo refuerzo adicional.



Figura 7. Tablero puente Bagebi durante el lanzamiento.

La torre está ubicada en el tablero sobre el diafragma en la sección P3. Esto significa que cuando el extremo frontal está alcanzando una nueva alineación y está cerca de apoyarse sobre un nuevo soporte, la torre está muy cerca de estar sobre la alineación anterior y de descansar, también, sobre un balancín de lanzamiento.

Así, con el vuelo máximo, podemos aplicar la máxima fuerza a los tirantes para eliminar casi por completo la deflexión del extremo frontal y reducir, de manera significativa, el momento flector negativo en la sección P3.

La carga que ha sido levantada del extremo frontal y la carga del extremo trasero utilizada como contrapeso se dirigen a la base de la torre y desde esta al soporte que debe resistir esta alta reacción "R2".



Figura 8. Tirante provisional Bagebi.

Esta gran ventaja del sistema de tirantes provisionales que nos permite el lanzamiento del tablero sin nariz frontal tiene un inconveniente. En contrapartida a la capacidad de levantar el extremo frontal, el sistema también está empujando hacia abajo el tablero en la base de la torre. Esto, como se ha mencionado antes, no es un problema cuando la torre está sobre un soporte en una alineación, pero añade un momento flector severo al tablero cuando la torre está en medio de un vano.

Para superar este inconveniente, tenemos que ajustar la fuerza de los tirantes tres veces en cada vano. La fuerza debe ser máxima

en el vuelo máximo y mínima cuando la torre está a media luz, pero también debe aumentarse a un nivel medio a cierta distancia antes de alcanzar el vuelo máximo para reducir el momento flector negativo que el vuelo genera.

La fuerza en los tirantes aumenta en cada vano a medida que avanza el lanzamiento, incrementando la longitud del voladizo. Por lo tanto, además del tensionado activo aplicado a los tirantes en las etapas de ajuste, las fuerzas en los tirantes varían de manera pasiva dependiendo de la posición del lanzamiento.

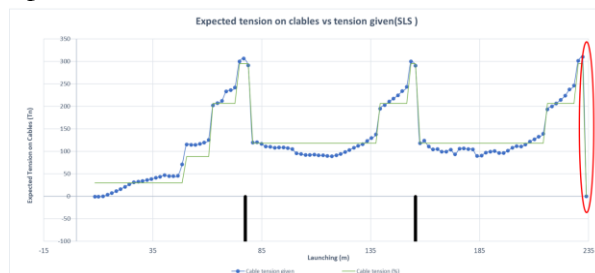


Figura 9. Gráfico de tensiones de los tirantes provisionales.

4. Soportes.

El parque de ensamblaje está ubicado entre la calle de la Universidad y el estribo A1. El eje longitudinal del parque de ensamblaje coincide en planta con el eje del puente. La longitud efectiva del parque de ensamblaje es de solo 155 metros, demasiado corta para construir el tablero completo del puente.

Debido a su longitud, la maniobra de empuje se ha dividido en dos fases. Fase uno. Construcción de 164 metros de tablero que comprende los vanos 3 y 2 y 7.5 metros del vano 1. Para poder construir 164 metros de tablero en un parque de ensamblaje de 155m, el frente del tablero voló 8.5 metros en voladizo desde el estribo A1 hacia la pila P2.

La maniobra de empuje de la fase (1) movió el tablero solo 78 metros hacia adelante, la longitud de un vano. Esto significa que la fase (1) del empuje terminó con el frente del tablero volando también en voladizo 8.97 metros desde P2 hasta P3.

Cabe destacar que, aunque la longitud de los vanos es de 78m, la distancia entre los apoyos deslizantes entre A1 y P2 y entre P3 y A4 era un poco menor, ya que el apoyo deslizante no estaba ubicado exactamente en la misma alineación que los apoyos definitivos. Aunque el primer vano que se salva en el empuje tiene una longitud de 77.53 metros, menor que la mitad del tramo construido (164/2 m), el factor de seguridad para la estabilidad de todo el tablero no es suficientemente alto. Debido a esto, para ganar estabilidad, el extremo trasero del tablero en la fase (1) se cargó con losas prefabricadas, que además ayudaban a distribuir adecuadamente la carga sobre los bogies.

Una vez finalizada la primera fase, la parte del tablero que todavía quedaba sobre el parque de ensamblaje se bloqueó con un par de vigas de frenado que impedían el movimiento longitudinal y con varias torres de construcción para liberar y reordenar los carros de ferrocarril.

La segunda fase de empuje comenzó después de los procedimientos anteriores: la construcción del resto del tablero para alcanzar su longitud total de 235 metros (234 entre apoyos) y la retirada de las prelosas de hormigón que ya no eran necesarias para la estabilidad. Una vez que todo el tablero descansó sobre apoyos deslizantes y carros, se quitaron las "vigas de frenado" y se procedió al empuje de la segunda fase.

4.1. Vías de rodadura.

Se utilizaron dos vías de ferrocarril de 155m de longitud en el parque de ensamblaje como camino de rodadura para los bogies.

Vías de ancho georgiano, de 1550mm entre railes, con traviesas de madera sobre terreno compactado. Ambas vías estaban separadas entre sí 12m, 6m a cada lado del eje longitudinal del tablero, con una tolerancia en planta de $\pm 0.01\%$. Sobre ambas vías, se disponían hasta 10 parejas de bogies con su correspondiente viga transversal de casi 19m.

La tolerancia en el posicionamiento de las vías y la compactación del terreno conseguida permitieron la rodadura de las parejas de bogies y su viga transversal de coronación sin problema alguno.

La alineación de las vigas era otro de los temas que más nos preocupaba dado que era la primera vez que utilizábamos bogies de ferrocarril como skid-shoes.

La conexión transversal entre sendos bogies de una pareja era prácticamente rígida por lo que nos preocupaba muchísimo que los bogies pudiesen quedar trabados si las vías no se posicionaban totalmente paralelas dentro de la tolerancia exigida.

También, nos preocupaba la alineación en planta ya que la longitud tan larga del parque marca la dirección del empuje. Dirección que debe coincidir con el eje del tablero en situación definitiva. Más aun cuando no disponíamos de regulación transversal del tablero en los bogies. Únicamente contábamos con la flexibilidad de los apoyos de neopreno que situábamos entre la viga transversal y el tablero.

El tablero, de eje recto en planta y alzado, se empujó con una pendiente en descenso del 0.5%. Las vías del parque de montaje se instalaron también sobre un plano con esa pendiente longitudinal.

El conjunto de la vía permitió cargar cada bogie hasta un máximo de 80 toneladas en vertical y el conjunto de ambos bogies, de una misma pareja, era capaz de transmitir hasta 6 toneladas en sentido transversal.

Los requisitos para los carros fueron:

- Carga del tablero del puente a transportar: 55 toneladas.
- Carga muerta del carro y su viga de carro: 5 toneladas.
- Carga de trabajo total: 60 toneladas.
- Carga total en estado límite último: 80 toneladas. (40 toneladas por eje) - Factor de seguridad requerido: 1.35
- Rigidez de la suspensión del carro: 3 ton/mm $\pm 20\%$ en dirección vertical.

- Capacidad de carga horizontal transversal: 3 toneladas por carro (1.5 toneladas por eje de carro en ELU)
- Capacidad de frenado longitudinal: Los frenos de los carros deben estar equipados con frenos capaces de aplicar una fuerza de frenado longitudinal del 0.5% de su reacción vertical.



Figura 10. Bogies del parque de ensamblaje.

4.2. Balancines.

El balancín es un apoyo basculante con un eje transversal que permite que el tablero gire longitudinalmente mientras transfiere la fuerza vertical desde el tablero a la torre temporal.

Estos balancines tienen una superficie superior plana con una entrada y salida redondeadas sobre las cuales se atornilla una lámina de acero inoxidable de 2mm.

Sobre la lámina de acero inoxidable discurren una serie de almohadillas de neopreno/teflón que se van introduciendo y retirando a medida que progresa el empuje.

La articulación mono axial puede transmitir las fuerzas horizontales que ocurren durante el deslizamiento debido a la fricción y la pendiente a seis pernos de conexión M30 que fijan el balancín a su placa base en la parte superior de cada cabeza de torre individual.

La combinación de teflón/acero inoxidable ofrece un coeficiente de fricción bajo que varía entre el 1.5 y el 5% si la superficie está adecuadamente lubricada, con grasa de silicona. Si la lubricación es deficiente, la fricción puede variar entre el 3 y el 6.5%.

En cuanto a la fricción de diseño, debemos multiplicar el valor más alto esperado por un factor de seguridad de 1.5. Esto nos da un valor de fricción del 10% para los cálculos.

Se confió que la fricción entre el neopreno y el acero del ala del tablero fuese más alta, considerando un 20%. Esta configuración hace que las almohadillas deslizantes resbalen sobre la superficie de acero inoxidable del balancín acompañando al tablero en su movimiento.

Otro de los problemas que presentaba este empuje era compaginar el apoyo sobre balancines, rígido en sentido vertical, con el apoyo sobre bogies, flexible por su suspensión. Más cuando los rigidizadores y conexiones del ala inferior de las jácenas del tablero obligaban a subir y bajar el tablero continuamente una altura considerable.

Este problema se reducía considerablemente en las pilas intermedias, pero no así en el estribo de salida. Para limitar las maniobras de elevación a tan solo 20 en el estribo se emplearon calces de aluminio de 50mm de espesor.



Figura 11. Alineación Pila 2.

La idea del calce fue muy eficaz permitiendo filtrar la mayoría de uniones con chapas homogenizadas a 50mm. El calce se utilizaba continuamente entre juntas y se retiraba en ellas. Cuando llegaba una de estas juntas no había variación de altura durante el empuje.

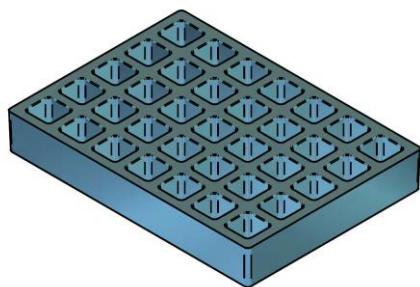


Figura 12. Esquema calce de aluminio.

Las almohadillas deslizantes estaban bajo los calces de aluminio antes de superar la unión, sobre las placas del cobre juntas de la unión durante su cruce, volviendo a los calces de aluminio después de superar la junta.

Para facilitar las maniobras de levantamiento y descenso del tablero, se emplearon dos sistemas de gatos auxiliares. Uno que permitía levantar o bajar el tablero calzando sobre balancín y otro que levantaba el balancín completo para ajustar su altura retirando o añadiendo vigas de calce en su base. En la imagen que sigue se ve el balancín con el sistema de gatos que permite calzar su base.

La variación del espesor del ala inferior además de complicar la maniobra de empuje suponía un grave riesgo.

El frente de un cubre-juntas o de la chapa de un refuerzo de ala podía colisionar con el balancín. Por ello una de las tareas más importantes del empuje fue destacar operarios que vigilaban continuamente que esto no sucediese para impedir por todos los medios comprometer la seguridad de la estructura. Esta tarea de vigilancia se realizaba en todas las pilas simultáneamente dado que el problema podría ocurrir en cualquiera de ellas.

Este tipo de balancín con superficie de acero inoxidable y almohadilla de neopreno/teflón es poco propenso a sufrir diferencias de rozamiento importantes cuando el tablero inicia su movimiento y el rozamiento pasa de estático a dinámico. No obstante, el efecto existe y en una maniobra como esta, en la que el sistema de empuje aplica la fuerza al tablero reaccionando contra cordones de pretensado de gran longitud, la precisión para

detener el movimiento de empuje mengua. El tablero puede seguir moviéndose una cierta distancia después de detener los gatos del sistema de empuje.

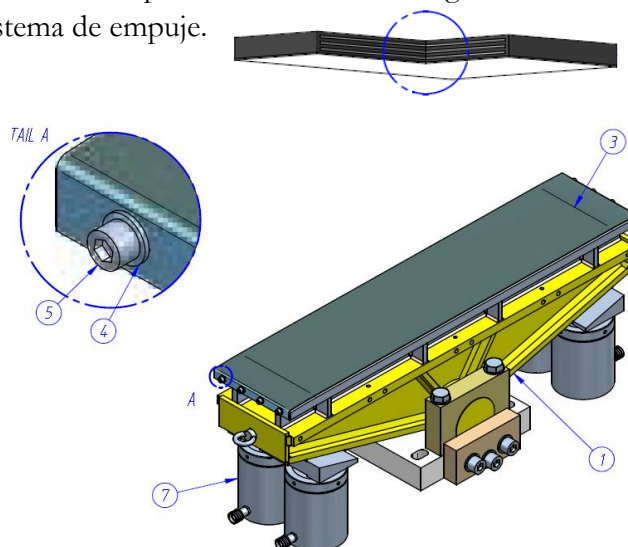


Figura 13. Esquema balancín tipo.

Así pues, cuando aparecía una variación importante entre el coeficiente de fricción estático y el dinámico, el tablero avanzaba sin la ayuda de los gatos de empuje. Esto se debía al crecimiento de la energía elástica en los cables de empuje que se liberaba repentinamente cuando se superaba el coeficiente de fricción estático.

Cuando esto ocurría, el tablero se movía repentinamente algunos centímetros hasta que la fuerza acumulada en el cable se reducía e igualaba la fricción dinámica de los balancines.



Figura 14. Balancín MK4.

Se tuvo que prestar máxima atención a este efecto para evitar que una junta o el extremo

de una placa de refuerzo colisionaran con los balancines durante este movimiento repentino.

Era una buena práctica detener el empuje 20 cm o 30 cm antes de un obstáculo y reorganizar las almohadillas y los calces de aluminio para evitar el riesgo de colisión.

4.2.1. *Gatos auxiliares*

Cada torre provisional estaba preparada para usar tres sistemas de gatos auxiliares. El sistema número #3 se utiliza solo al final del empuje para bajar el tablero completo a medida que se desmonta la torre. Se utilizaron gatos con una capacidad de 200 toneladas cada uno y un recorrido de 300mm.

El sistema número #2 se basa en cuatro gatos de 100 toneladas y 100 mm de recorrido, que están ubicados en la vecindad de los balancines, pero no debajo de ellos. Estos gatos tienen tres funciones principales.

- 1 - Elevar o bajar el tablero para insertar calces sobre el balancín deslizante, o incluso para su retirada final.
- 2 - Elevar o bajar el tablero para ajustar las almohadillas de aluminio y cruzar obstáculos.

El sistema #1 emplea, también, gatos de 100 toneladas debajo de los balancines. Este sistema permite insertar y retirar calces bajo su base.

4.2.2. *Almohadillas deslizantes*

Existen varias configuraciones que se pueden utilizar para deslizar un tablero de acero sobre balancines. Para estructuras ligeras con ala inferior, equipadas con células de lanzamiento, el uso de rodillos puede ser una opción si las reacciones no superan el rango de 75 a 150 toneladas. Para alas inferiores de acero pintado convencionales, el uso de almohadillas fijas de neopreno / teflón es una opción muy común. En esta última opción la pintura del ala inferior del tablero se desliza sobre el teflón de la almohadilla. Esta solución puede utilizarse para reacciones muy altas, incluso para reacciones de

1000 toneladas y coeficientes de fricción medios entre el rango del 3.5 al 10%.

Para empujar estructuras de acero patinable, o corten, también puede usarse la opción anterior. El tablero puede lanzarse utilizando almohadillas fijas de neopreno / teflón o almohadillas especiales de polietileno. Sin embargo, el coeficiente de fricción puede aumentar mucho y esta configuración normalmente se usa solo en puentes con pilares muy cortos y fuertes. Los coeficientes de fricción pueden aumentar fácilmente alrededor del 20%. El uso de torres temporales recomienda el uso de una solución de deslizamiento que garantice un coeficiente de fricción bajo para minimizar el momento de vuelco de estas torres.



Figura 15. Vista Estribo A1 antes del lanzamiento.

Debido a la necesidad de reducir el rozamiento al mínimo y reducir así el momento de vuelco de las torres provisionales, en Bagebi adoptamos el uso de almohadillas de deslizamiento invertidas. Estas almohadillas de deslizamiento de neopreno / teflón tienen el teflón hacia abajo, apoyándose sobre el balancín que está equipado con una placa de acero inoxidable. Estas almohadillas, junto con los balancines basculantes usados para este empuje, son capaces de resistir más que la máxima reacción esperada en estado límite último (ELU) de 400 toneladas. Al mismo tiempo, el roce se mantiene bajo, en un rango entre el 1.5 y el 5%.

5. *Sistema de retenida.*

Dependiendo de la tipología del puente a empujar, una pendiente del 0.5% en bajada puede no requerir un sistema de retenida, dado

que este es el valor límite inferior, según nuestra experiencia, del rozamiento dinámico de los apoyos deslizantes provisionales que utilizamos. No obstante, nos encontramos en Bagebi ante un tablero con contraflechas muy pronunciadas y un rozamiento en los bogies que puede llegar a ser inferior a la pendiente seleccionada. Es por ello que en Bagebi dispusimos de un sistema de retenida, también con cable de pretensado que ligaba en todo momento el frente del tablero con el estribo de salida. Este sistema se basaba en un tendón de retenida de 4 cordones de pretensado y un gato de heavy lifting capaz de soltar cable a medida que evolucionaba el empuje.

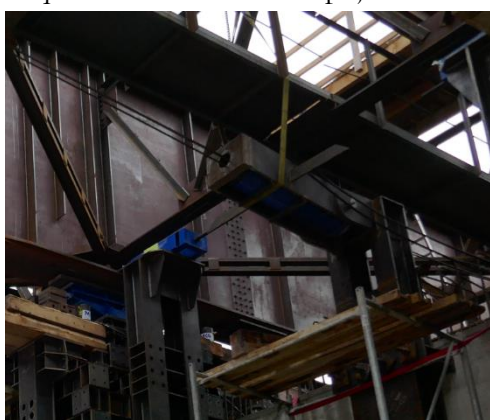


Figura 16. Vista sistema de retenida.

El sistema se utilizó únicamente como un elemento de seguridad redundante durante el empuje, haciendo falta su uso únicamente al acabar la primera fase de empuje antes de soldar los frenos y durante la segunda fase de empuje en dos ocasiones: cuando las contraflechas de los 3 vanos coincidían aumentando la pendiente de bajada y al final de la maniobra, cuando la reacción sobre los bogies era prácticamente nula.

6. Conclusiones.

Este empuje no ha sido uno más en los que hemos tenido el privilegio de colaborar. Este empuje ha supuesto la superación de un reto muy importante, en el que surgía un problema tras otro a medida que profundizábamos en el proyecto de empuje. Hemos empujado un tablero muy pesado de una tipología particular, con uniones atornilladas, no concebido para ser empujado.

Hemos empujado un multi-jácena de 4 vigas con la incertidumbre en el reparto de cargas que eso supone.

Hemos empujado sobre torres provisionales de hasta 5m de altura, conectadas a las cabezas de pilas definitivas únicamente con barras de pretensado vertical, torres que debían desmontarse con el tablero encima.

Hemos sido capaces de empujar un tablero cuyas alas inferiores estaban llenas de obstáculos sin errores.

Por primera vez hemos empleado bogies de ferrocarril como skid-shoes con éxito. Bogies en vías sobre terreno compactado, sin usar zapatas corridas de hormigón.

Hemos empleado un sistema de atirantamiento único muy flexible que nos ha permitido avanzar rápidamente y prescindir de la nariz de empuje. De igual manera, tanto el sistema de tiro como el de retención, ambos de gran capacidad, han funcionado correctamente sin presentar problemas en ningún momento.

Como conclusión podríamos resumir que afrontar una maniobra de este tipo en equipo discutiendo todos los problemas de antemano y enfrentarse a la maniobra con todo resuelto es clave para el éxito.

7. Agradecimientos.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al ayuntamiento de Tíblisi Georgia, propietario del puente, y a Construction Services, nuestro cliente, así como a los proyectistas del proyecto original del puente y a otros muchos técnicos georgianos con los que hemos colaborados para llevar el proyecto a buen fin.

También queremos agradecer la inestimable ayuda de IDI ingenieros que realizó el proyecto de empuje para Mekano4 y, como no, a todo el personal de Mekano4 que de una forma directa o indirecta ha permitido realizar con éxito una maniobra tan difícil.