

Instalación de tirantes en el puente Comuneros II en Huancayo (Perú)

Stay cables installation of the Comuneros II bridge in Huancayo, Peru

Alejandro Reques del Río^a, Patrick Ladret^b, Nicolas Trotin^c, Jean Pierre Galván Aldoradin^d, Jorge Herrera^e y Efraín Sueldo^f

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Freyssinet S.A.U. Ingeniero Departamento Técnico. alejandro_r@freyssinet-es.com

^bIngeniero Civil. Freyssinet S.A.U. Director Desarrollo Internacional. pladret@freyssinet-es.com

^cIngeniero Industrial. Freyssinet S.A.U. Ingeniero Departamento Técnico. nicolas_t@freyssinet-es.com

^dIngeniero Civil. Freyssinet y Tierra Armada Perú. Gerente de Operaciones. jeanpierre.galvan@fta.pe

^eIngeniero Civil. Freyssinet y Tierra Armada Perú. Gerente de Ingeniería. jorge.herrera@fta.pe

^fIngeniero Civil. Freyssinet y Tierra Armada Perú. Ingeniero Departamento técnico. efrain.sueldo@fta.pe

RESUMEN

Durante finales de 2023 y principios de 2024, Freyssinet llevó a cabo la instalación de los 40 tirantes del vano principal y retenidas del puente Comuneros II, sobre el río Mantaro en Huancayo (Perú). Se trata de unos tirantes de 12, 19 y 27 cordones, formados por una horquilla fija en el pilono y una horquilla regulable en el tablero, desde donde se tesaban los mismos. Previo a su izado y tesado, se llevó a cabo su prefabricación en el tablero del puente, obteniendo un ciclo completo de preparación e instalación de 2 a 3 días por cada pareja de tirantes.

ABSTRACT

During late 2023 and early 2024, Freyssinet installed the 40 stay cables for the main and back span of the Comuneros II bridge over the Mantaro River in Huancayo (Peru). These are 12, 19 and 27 strands stay cables, consisting of a fixed fork on the pylon and an adjustable fork on the deck, from where they were tensioned. Before the stay cables were lifted and tensioned, they were prefabricated on the bridge deck, with a complete preparation and installation cycle of 2 to 3 days for each pair of stay cables.

PALABRAS CLAVE: construcción de estructuras, tirantes, horquilla, prefabricación, simultaneidad.

KEYWORDS: structural construction, stay cables, fork, prefabrication, simultaneity.

1. Estructura

El puente Comuneros II, situado sobre el río Mantaro en Huancayo (Perú), tiene una longitud total de 725 m, repartidos en 2 vanos de 43.40 y

6 vanos de 62 m, además de un tramo atirantado formado por dos vanos de retenida de 63 m y un vano central de 140 m.

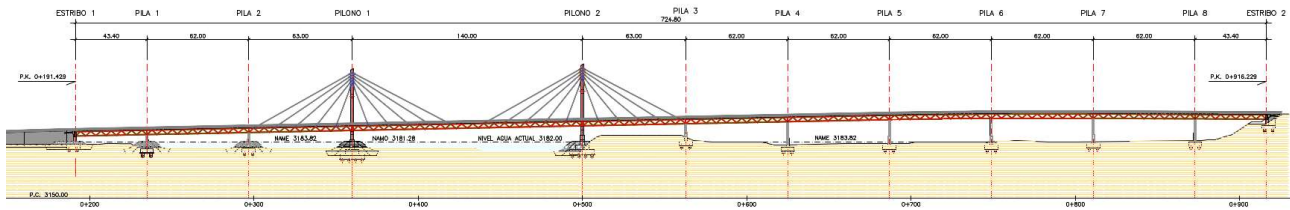


Figura 1. Alzado del puente.

El puente tiene un ancho variable de 18,5 m en la zona atirantada y de 15,8 m en el resto. En este ancho se ha previsto dos carriles para calzadas, y dos ciclovías y veredas en los voladizos, independientes entre sí mediante una barrera tipo new jersey.

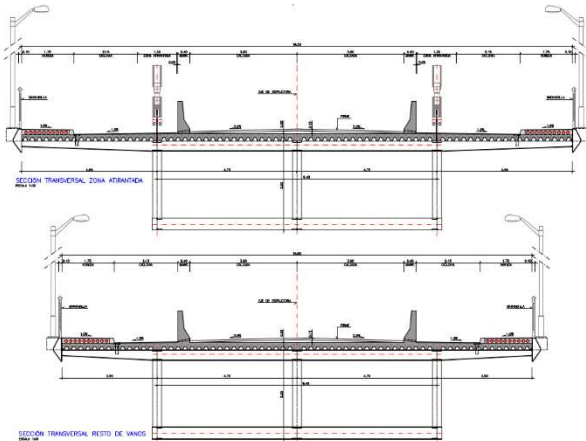


Figura 2. Sección transversal.

El tablero está formado por un tablero metálico en forma de celosía Warren sobre el que descansa una losa de hormigón de compresión.



Figura 3. Tablero en celosía.

Todas las pilas son de hormigón armado con cimentación profunda, al igual que los estribos. El tramo atirantado tiene 2 pilonos de hormigón en forma de H, con un tramo superior mixto, desde donde salen 2 haces de tirantes (5 unidades por vano), formando un total de 40 tirantes.

Los tirantes están repartidos en unidades de 12, 19 y 27 cordones, con una longitud máxima de aproximadamente 65 m. A continuación, se recogen los datos más relevantes del tirante de mayor y menor longitud.

Tabla 1. Resultados del análisis de carga.

Tirante	Nº cordones	Fuerza tesado (kN)	Fuerza final (kN)	Longitud cuerda final (m)
1	27	1230	2629	65.067
16	12	548	886	22.617



Figura 4. Pilono en forma de H.

La estructura del tablero en el tramo atirantado es igual que en el resto del puente. Sobre las vigas superiores principales longitudinales se disponen orejetas donde se conectan los anclajes inferiores de los tirantes.



Figura 5. Orejeta inferior.

La cabeza de los pilonos está formada por dos cajones metálicos unidos al cuerpo con barras pretensadas y rellenos de hormigón.

Sobre estos cajones, se disponen orejetas en vertical donde se conectan los anclajes superiores.



Figura 6. Orejeta superior.

2. Proceso constructivo

El puente se construyó apeando los vanos de acceso sobre torres intermedias. Debido al cauce y caudal del río, se decidió apeaar el vano central del tramo atirantado sobre un arco metálico que salvaba el cauce. Sobre este arco, y simplemente apoyado, se disponía el tablero sobre torres, de las que fue despegando el tablero según se fueron instalando y tesando los tirantes.



Figura 7. Arco de apeo.

Los tirantes se instalaron por parejas, y por escalones, de forma que durante el tesado de los tirantes no hubo en ningún instante una diferencia de carga entre la pareja de más del 50% de la carga final.

Se comenzaron instalando los tirantes más próximos al pilono del vano central, para, a continuación, instalar el par correspondiente en el vano de retenida.

La influencia de los tirantes de un pilono sobre los del otro fue muy baja hasta las últimas unidades de tirante.

3. Tirantes Freyssinet y su alcance

Freyssinet ha sido la empresa encargada de suministrar e instalar los tirantes del puente Comuneros II.

Los cordones de los tirantes están formados por 7 hilos de alta resistencia, con un diámetro de 15,7 mm denominados monostrand Freyssinet.

El monostrand Freyssinet se compone de un cordón de pretensado galvanizado de grado 1860 MPa, con una triple protección anti-corrosión: galvanizado, vaina de polietileno de alta densidad y relleno de intersticios entre los hilos y entre los hilos y la vaina con cera petrolífera.

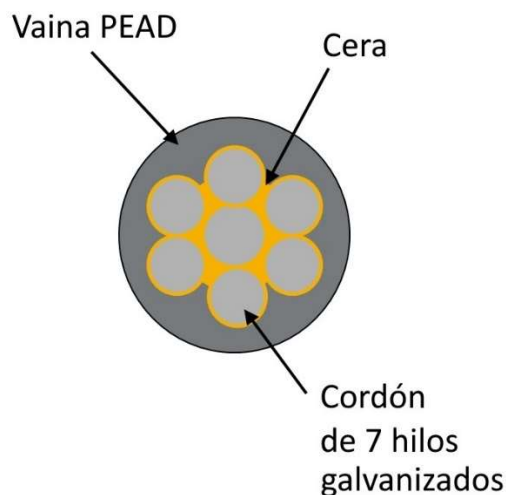


Figura 8. Sección de cable Freyssinet.

El haz de cordones paralelos se enfile dentro de una vaina de polietileno de alta densidad, en este caso blanca, cuya función, además de proteger los cordones, es la de proporcionar estanqueidad para evacuar el agua y mejorar el perfil aerodinámico. Para ello, se dispone de dos hilos en forma de hélice alrededor de la vaina que permite reducir las vibraciones de los tirantes en condiciones de lluvia y viento.



Figura 9. Vaina global de PEAD.

En el anclaje inferior, para una mayor protección frente a actos vandálicos, se dispone de un tubo metálico que permite llevar a cabo la transición entre la vaina y el anclaje. A pesar de la distinta inclinación de los tirantes, se diseñaron todos los tubos antivandálicos para que quedaran a una altura de 2,5 m respecto a la rasante, manteniendo así la estética del puente.



Figura 10. Tubo antivandálico.

En el anclaje superior, las diferencias de longitud de la vaina provocadas por la dilatación térmica se resuelven mediante un tubo telescópico de mayor diámetro que la vaina, que se fija al cuerpo de la horquilla.

En cuanto a los anclajes, el superior es una horquilla fija y el inferior una horquilla regulable, con una carrera de ± 100 mm, posibilitando ajustes posteriores.

En ambos tipos de horquillas, los cordones se anclan a un bloque alojado en el interior de la misma mediante cuñas individuales.

Las horquillas están formadas por un cuerpo, donde se aloja el bloque, y una cabeza con un taladro que es la que se conecta a la orejeta mediante un perno.

En el caso de la horquilla inferior, la cabeza tiene un agujero oblongo de 20 mm que permite el movimiento de ésta con respecto a la orejeta y el perno. La cabeza y el cuerpo de la horquilla regulable quedan conectados mediante un tensor roscado que permite el ajuste de tensión del tirante.

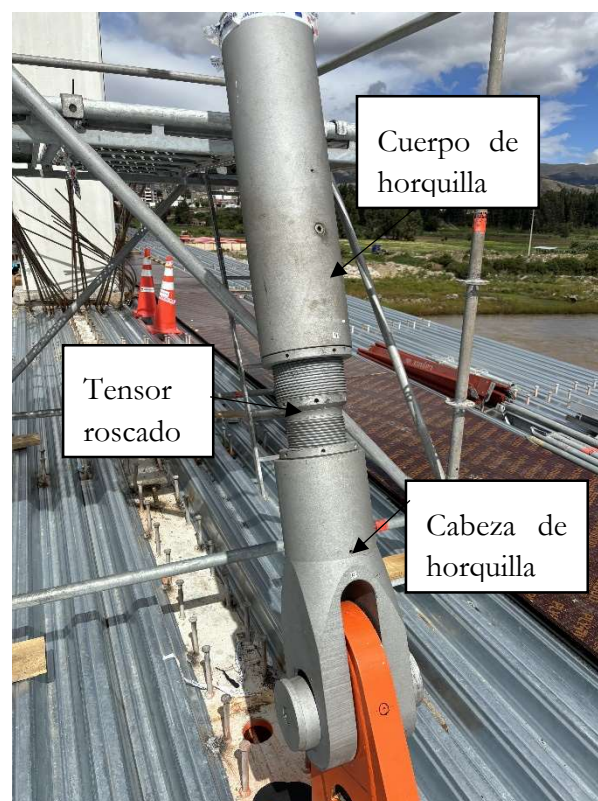


Figura 11. Horquilla inferior regulable.



Figura 12. Horquilla superior fija.

3. Ciclo de ejecución

Una de las particularidades de este proyecto fue la de disponer de tirantes con anclajes de horquillas en ambos extremos, permitiendo así la prefabricación de todos los tirantes en el tablero.

El ciclo productivo de prefabricación, instalación y tesado se optimizó durante el proyecto, hasta alcanzar un periodo inferior a 3 días para cada pareja de tirantes.

Cada ciclo de ejecución estaba formado por las mismas fases para todos los tirantes:

1. Prefabricación
2. Comprobaciones y datos definitivos
3. Fabricación final
4. Instalación
5. Tesado
6. Topografía

Con el avance de la obra, se pudieron solapar ciclos de prefabricación, reduciendo al máximo el tiempo de espera entre ciclos.

3.1 Prefabricación

En base a los datos iniciales de deformaciones de la estructura esperadas durante el tesado de los tirantes y las fuerzas proporcionadas por el proyectista, y a la primera lectura topográfica del

punto, se pudo realizar un predimensionamiento de todos los elementos variables de los tirantes que intervenían en un ciclo de ejecución (longitud de cordón, longitud de vaina, etc).

A la espera de datos definitivos, se añadió a estos valores una sobre longitud suficiente que permitiese anticipar el corte de los cordones manteniendo un cierto margen en caso de que el comportamiento de la estructura no fuese el esperado. Al trabajar en tablero apeado, el primer tirante se pudo fabricar directamente de forma definitiva.

Cabe mencionar que el corte de los cordones se realizaba sobre una bancada en la cual se había dispuesto un cordón patrón con referencias de longitudes marcadas con topografía en condiciones de temperatura conocidas, de tal forma que la precisión de corte de los cordones no dependía de la temperatura del momento ni de la deformabilidad e las herramientas de medición manuales (cintas métricas).

3.2 Comprobaciones y datos definitivos

Al finalizar cada ciclo de tesado de un par de tirantes, se realizaba una lectura topográfica de todo el puente (ver párrafo 3.6). Con estos datos, y las fuerzas finales de tesado de la pareja anterior, el proyectista llevaba a cabo las comprobaciones de los resultados esperados (deformaciones en pilono y tablero) que permitía obtener los datos definitivos para el corte final de cordones y vaina de la pareja siguiente.

3.3 Fabricación final

Con los datos definitivos, se llevaba a cabo la fabricación final del tirante. Se realizaba el ajuste necesario a la sobrelongitud de los cordones y vaina.

A continuación, se enfilaba por orden cada cordón dentro de la vaina y en ambos bloques, y se procedía al bloqueo de la cuña con gato hidráulico para manipulación de los tirantes sin riesgo de deslizamiento de cordones. En los extremos se disponía de los anclajes desmontados, pudiendo de esta manera tener acceso al bloque.

Finalizado el anclado de los cordones, se procedía a cerrar y apretar el sistema de estanqueidad del anclaje, que consiste en unos elementos de protección frente al agua, y a continuación el resto de los elementos de las horquillas. Con las horquillas montadas y cerradas, se inyectaban con cera, de forma que se pueda evitar la corrosión de las puntas de los cordones.

3.4 Instalación

Con ayuda de carros y mesas de transporte, se trasladaron los tirantes hasta su posición definitiva sobre el tablero.

Una vez en posición, una grúa sobre el cauce seco en los vanos de retenida izaba el anclaje superior hasta su posición final en el pilono, quedando el tirante en forma de L.



Figura 13. Izado de tirante.

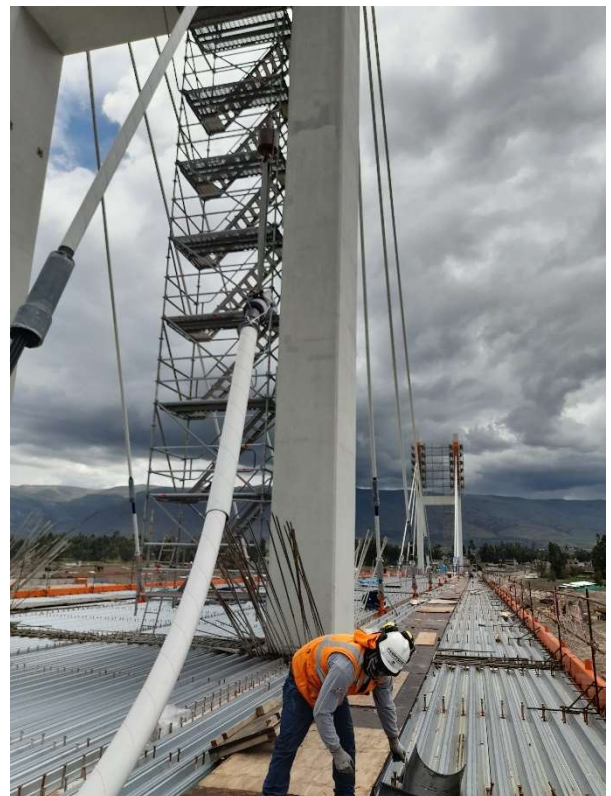


Figura 14. Izado de tirante.

Al tratarse de tirantes inclinados y de longitud importante, no siempre fue posible la conexión de la horquilla inferior a su anclaje con un simple sistema de tiro auxiliar por acción de la catenaria, especialmente en los tirantes más largos. Por esta razón, en la orejeta inferior se dispuso de un segundo agujero que permitió la instalación de un sistema de aproximación. Este sistema, aparte de ser el sistema de tesado del tirante, permitía la aproximación de la horquilla hasta su orejeta y conexión.

El sistema de tesado estaba formado por:

- Horquilla auxiliar instalada en el anclaje inferior, en el segundo agujero, mediante un perno cilíndrico.
- Bastidor superior, conectado a la parte trasera de la horquilla del tirante.
- Barras Freyssibar B50 de pretensado de gran longitud que conectaban ambas piezas
- Un gato hueco por barra, instalados tras el bastidor, con una capacidad máxima de 100 toneladas por gato.

Tras sucesivas gatadas, se fue acercando la horquilla inferior hasta quedar conectada en el agujero principal del anclaje con su perno cilíndrico.

Mediante la instalación de unas piezas auxiliares de adaptación, se pudo utilizar el mismo sistema de tesado para todas las unidades de tirantes.

Los sistemas de tesado tenían una capacidad máxima de carga de:

Unidad	Capacidad máxima (kN)	%GUTS
12	1170	35%
19	1855	35%
27	2636	35%



Figura 15. Sistema de tesado para unidad de 12 cordones.



Figura 16. Sistema de tesado para unidad de 12 cordones.



Figura 17. Aproximación de sistema de tesado para unidades de 19 y 27 cordones.



Figura 18. Enfilado de barras para unidades de 19 y 27 cordones.



Figura 19. Conexión de horquilla inferior para unidades de 19 y 27 cordones.

3.5 Tesado

Una vez conectada la horquilla inferior a su anclaje, se procedió al tesado del tirante a la carga objetivo del proyecto.

La horquilla regulable inferior dispone de un agujero oblongo que permite que el tesado se realice por escalones de 20 mm.

El principio de tesado es el siguiente:

- Se ponen en carga los gatos huecos en equipresión, para mantener el sistema equilibrado, acercando el bastidor, y por ende la horquilla, hacia el tablero.
- Se abren los pistones de los gatos hasta que salgan 20 mm o haya contacto del extremo del agujero oblongo con el perno.
- En ese momento, la rosca de la horquilla regulable se encuentra sin carga, lo que

permite girar el tensor de conexión roscado entre la cabeza y el cuerpo de la horquilla, reduciendo la distancia entre esos 2 elementos. De esta forma, se acortaba el tirante y se aumentaba la tensión del mismo.

- Se repetía la operación por escalones de 20 mm hasta llegar a la carga objetivo.

Los valores máximos de conexión y tesado por cada unidad de tirante fueron:

Tabla 2. Valores máximos de conexión y tesado.

Tirante	Nº cordones	Fuerza de conexión aproximada (kN)	Fuerza tesado (kN)
15	12	8	862
13	19	600	859
10	27	900	1385

Cabe notar que todos los tirantes de unidad 12 cordones pudieron conectarse con la ayuda de elementos auxiliares de aproximadamente 10 kN. Para el resto de tirantes, fue necesario el uso del sistema de aproximación.

3.6 Topografía

Una vez finalizada la instalación y tesado del tirante, se procedió a una lectura topográfica del puente.

Con estos datos y el valor resultado de la tensión de la pareja de tirantes instalados, el proyectista pudo evaluar la respuesta del puente, y emitir datos definitivos de deformaciones y tensiones utilizados para la fabricación final de la siguiente pareja de tirantes.

4. Conclusiones

Es importante subrayar la innovación que ha supuesto este proyecto el uso de tirantes formados por terminales horquilla-horquilla en unidades significativas de cordones (unidades de 12, 19 y 27 cordones).

Este hecho, en comparación con tirantes convencionales, ha permitido una prefabricación completa de los tirantes sobre el tablero, pudiendo solapar la prefabricación de varios tirantes a la vez.

Además, permitía independizar la prefabricación de la instalación y tesado, lo que reducía la incertidumbre de su fabricación y aumentaba la seguridad durante estas tareas.

Otra ventaja del sistema de tirante de horquilla empleado es la simplicidad de las conexiones, solucionado por una orejeta con cartabones. Al ser una conexión rotulada, los requisitos de orientación de placa de apoyo no aplican, siendo la orientación entre las orejetas el parámetro crítico.

Además, al tratarse de una orejeta soldada al tablero y al pilono, la solución estructural de los mismos se puede simplificar, yendo a soluciones macizas en lugar de huecas. También se simplifican los accesos a los anclajes, siendo sobrrrasante en el tablero y en la cara exterior del pilono, es decir, solo son necesarios 2 puntos de acceso para la instalación de los tirantes, en lugar de los 3 o 4 necesarios para los tirantes estándares.

Sin embargo, el hecho de que fueran tirantes inclinados y con una longitud superior a 60 m, implicó una fuerza de conexión considerable debido a la catenaria del tirante. Para poder llevar a cabo su conexión, fue necesario un estudio detallado de geometría y cargas, al igual que un útil de aproximación, que también sirvió para el tesado de los mismos.

En total, se han instalado 20 parejas de tirantes, con un total de 50441 kg de acero en cordones.

Los tirantes fueron prefabricados e instalados entre los meses de octubre 2023 y enero 2024.

Agradecimientos

Los autores del artículo quieren manifestar su agradecimiento a todos los que hicieron posible, con su esfuerzo, compromiso y dedicación, llevar a cabo en tiempo y forma esta obra del puente atirantado Comuneros II, y de forma especial a CESMA, proyectista del puente y asistencia técnica durante la ejecución y a SIMA, cliente del proyecto.