

Construcción del puente atirantado sobre el río Huallaga en Perú

Construction of the cable-stayed bridge over the Huallaga river in Peru

Javier Muñoz-Rojas Fernández^a, Jorge Giganto Fernández^b, Gonzalo Marinas Sanz^c,
Miguel Ángel Astiz Suárez^d, Pablo Delgado García^e, Carlos Mego Montalbán^f

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.L. jmrojas@cfcsl.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.P. - HUALCA. jgiganto@cfcsl.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.L. gmarinas@cfcsl.com

^d Prof. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.L. maastiz@cfcsl.com

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.P. - HUALCA. p.delgado@cfcsl-latam.com

^f Ingeniero Civil. Tableros y Puentes S.A. Sucursal Perú. cmego@tapusa.com

RESUMEN

El Puente Huallaga es un puente atirantado proyectado sobre el río del mismo nombre en la Región de San Martín, Perú. La estructura singular presenta una sección mixta con tablero de vigas metálicas longitudinales y transversales, y losa superior de hormigón armado materializada con losas prefabricadas y zonas hormigonadas in situ. La distribución de luces diseñada es 6.00 + 87.00 + 220.50 + 87.00 + 6.00 m (longitud total de 407.50 m). El proceso de construcción adoptado implicó dos tipos de procedimientos: en el caso de los vanos de retenida, la disposición de apeos provisionales; y, para el vano central, el montaje del tablero por avance en voladizo usando grúas telescópicas.

ABSTRACT

The Huallaga Bridge is a cable-stayed bridge designed over the river of the same name in region of San Martín, Peru. The singular structure has a composite deck section with longitudinal and transverse steel beams and a reinforced concrete top slab made of precast panels and cast-in-place stitches. The designed span distribution is 6.00 + 87.00 + 220.50 + 87.00 + 6.00 m (total length of 407.50 m). The erection process involved two types of procedures: for the side spans, temporary supports were used; and, for the main span, the deck was constructed by cantilevered advance using telescopic cranes.

PALABRAS CLAVE: puente atirantado, construcción en avance en voladizo, control geométrico,

KEYWORDS: cable-stayed bridge, cantilever construction, geometric control

1. Introducción

1.1. Descripción general del Proyecto

El Puente Huallaga es un puente atirantado proyectado sobre el río Huallaga para el centro poblado de Santa Lucía, distrito de Uchiza, provincia de Tocache, región San Martín, Perú.

Desde el punto de vista de ubicación en la variabilidad de climas existentes en el Perú (costa, sierra o selva), es una estructura que se emplaza en zona de selva.

El río Huallaga presenta un ancho promedio de 200 m en el emplazamiento proyectado para el puente, con llanuras de inundación importantes, especialmente hacia la margen derecha. Antes de la ejecución de la estructura, la única manera de cruzar el río para las poblaciones asentadas en la zona era emplear barcazas y balsas artesanales con motor de borda (figura 1) lo que ocasionaba pérdidas económicas, demoras en tiempos y desperdicio de mercancías.



Figura 1. Transporte mediante barcaza de un volquete entre ambas márgenes del río Huallaga.

Cabe destacar el interés nacional que presenta la optimización del tramo de vía al que pertenece el Puente Huallaga, debido a que permitirá potenciar la explotación de los recursos de la selva, dotando de continuidad a través del río a la ruta 05N existente, mejorando de manera significativa la seguridad vial y aumentando la capacidad de transporte de carga y de pasajeros en la zona. Adicionalmente, la población de ambas márgenes ya no tendrá que exponer su integridad física durante el uso de las

balsas artesanales para cruzar el cauce del Huallaga, y la modernización de la zona permitirá mayor accesibilidad mejorando el nivel de vida de los pobladores.

La entidad encargada del cumplimiento del contrato de construcción fue Provías Nacional, el proyectista de la estructura fue Jack López Ingenieros S.A.C. y el contratista a cargo de la ejecución de la obra fue el consorcio CPHI, formado por las empresas Tableros y Puentes Sucursal Perú (TAPUSA), Termirex y HB Sadelec. La supervisión de la obra corrió a cargo de AYESA Sucursal Perú.

Carlos Fernández Casado (CFCSL) y Hualca Ingenieros realizaron para el contratista la ingeniería de construcción y el desarrollo completo del proceso de ejecución de la estructura.

En abril del año 2021 dio inicio la obra, extendiéndose hasta mayo del año 2023, mes en el que se consiguió cerrar el vano central. La culminación y puesta en servicio de la obra se realizó en el mes de diciembre del 2023.

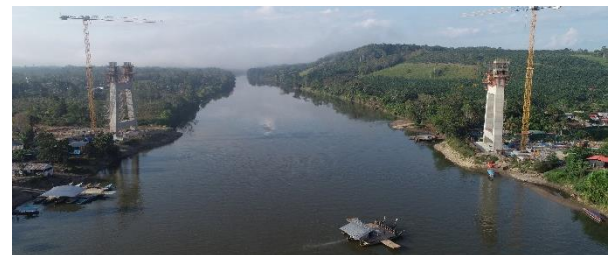


Figura 2. Vista general durante la construcción con el empleo de balsas como medio de transporte.

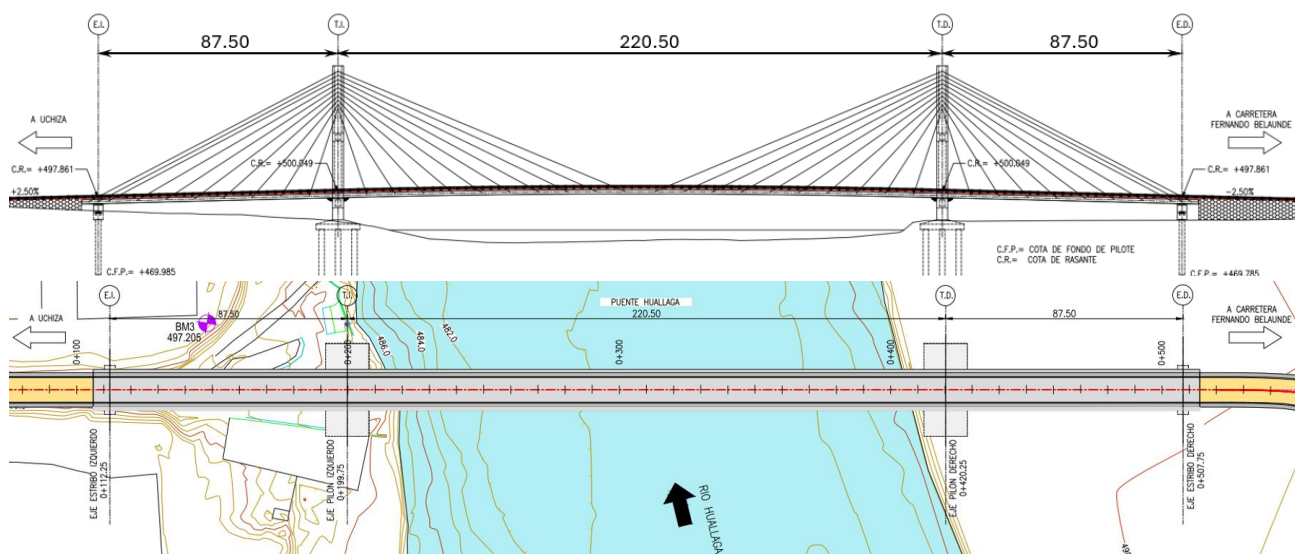


Figura 3. Elevación longitudinal y planta general del Puente Huallaga. Cotas en [m].

1.2. Características geométricas de la estructura

El Puente Huallaga se diseña como un puente atirantado con tablero de sección mixta hormigón-acero. La distribución de luces es 6.00 + 87.00 + 220.50 + 87.0 + 6.00 m, que supone una longitud total de 407.50 m (figura 3). Conceptualmente, se trata de un puente atirantado clásico con un vano central o principal de 220.50 m de luz y dos vanos laterales o de retenida de 87.50 m ($0.40 \cdot L$) entre ejes de apoyos. Presenta una anchura de 15.00 m a bordes exteriores de losa superior, con una separación de 13.40 m entre ejes de vigas metálicas longitudinales. El tablero está formado por un emparrillado de vigas longitudinales de sección transversal doble T de acero estructural (sin prolongación externa del ala superior) de 1.60 m de canto. En cuanto a las vigas transversales, también son mixtas de canto variable entre 1.60 m en su conexión con las vigas longitudinales y 1.00 m en el centro de la sección transversal (ver figura 4) dispuestas cada 3.50 m en el sentido longitudinal del tablero.

La losa superior de hormigón armado se materializa mediante losas prefabricadas de 25 cm de espesor, solución que, en este tipo de puentes atirantados, mejora el proceso de ejecución y ayuda a disminuir los efectos impuestos por la retracción y la fluencia.

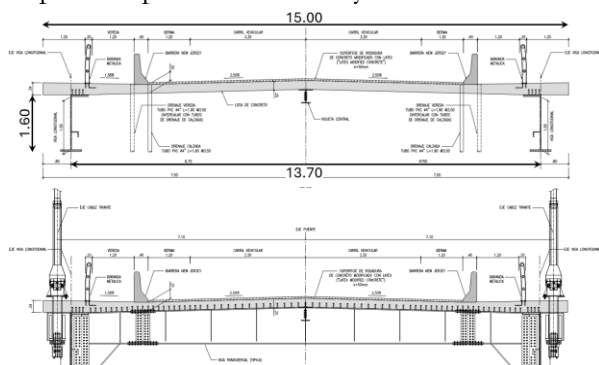


Figura 4. Sección transversal tipo tablero y sección transversal por viga transversal. Cotas en [m].

El sistema de atirantamiento propuesto es doble ubicado en los bordes del tablero, con una distribución en semi-abanico.

Se diseñan diez tirantes de sustentación en el vano principal y diez tirantes de retenida en los vanos de compensación, compuestos por un número de cordones de acero de alta resistencia de potencia variable (12-0.6" – 27-0.6") en función de su ubicación y de su longitud, con un valor máximo de 112.00 m y mínimo de 30.40 m. El número resultante de tirantes es de ochenta.

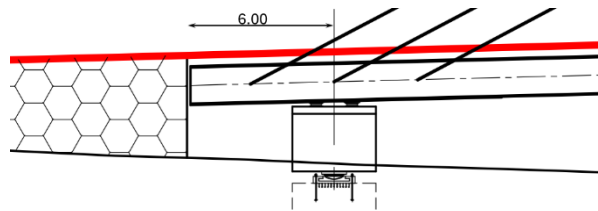


Figura 5. Detalle de la zona del voladizo extremo de la estructura metálica del tablero.

Los cables se anclan en el tablero cada tres vigas riostras transversales, lo que significa una separación de 10.50 m; a excepción de los últimos tirantes de retenida, los cuales se concentran en la zona de apoyo del tablero en los estribos con el objetivo de rigidizar la parte superior de las torres. En la zona de estribos existe un voladizo de 6.00 metros hasta llegar a la estructura de contención de tierras del terraplén de acceso. El proveedor encargado de la verificación del diseño, fabricación, transporte y puesta en obra y servicio del sistema de tirantes fue VSL International Ltd.

Se definieron amortiguadores de fricción en los tirantes de mayor longitud, es decir, los tirantes T-07 a T-10, incorporados en tablero, tanto en los tirantes de retenida de los vanos laterales como en los tirantes de sustentación del vano principal. Como regla general de diseño, los tirantes de longitud superior a 80.00 m deben ser diseñados con la incorporación de un amortiguador, con el fin de mitigar o reducir las vibraciones no esperables o no deseadas en el tirante [1].



Figura 6. Detalle de los amortiguadores de fricción instalados en los tirantes T09 y T10.

El anclaje de tirantes en tablero propuesto en el proyecto original se resolvía mediante una unión atornillada con tornillos pretensados. Sin embargo, tal y como se desarrollará más adelante (subapartado 2.1), se modificó por una solución mediante unión soldada con el objetivo de recoger y aprovechar todas las ventajas que este tipo de unión ofrece.



Figura 7. Detalle de ejecución de los anclajes de tirantes en torres.

En cuanto al anclaje de tirantes en torre, se materializa mediante un blíster de hormigón por anclaje, armadura pasiva y barras pretensadas para recoger los efectos de la componente horizontal de la carga que transmiten los tirantes.

Las torres de atirantamiento presentan una altura respecto de la cara superior del encepado de 56.00 m ($0.22 \cdot L$). Se diseñan con una tipología en forma de H (figura 8), con una viga riostra inferior que sirve de apoyo al tablero, y una viga riostra superior que apuntala el cambio de inclinación de los fustes. La sección transversal de la torre es rectangular, maciza o hueca en función de su posición en altura, y sus dimensiones geométricas se mantienen constantes en sentido longitudinal (4.00 m) y transversal (3.40 m).



Figura 8. Elevación frontal de la torre finalizada.

La cimentación del puente es profunda en todos sus elementos, tanto en estribos como en torres, definida por tres pilotes de 2.00 m de diámetro con una profundidad de 20.00 m en estribos, y dieciocho pilotes de 2.00 m de diámetro y una profundidad de 45.00 m en torres.

La superestructura se encuentra apoyada en sentido longitudinal y transversal sobre aparatos de apoyo tipo disco multidireccionales en torres, y mediante un doble sistema de apoyos (disco fijos + esféricos diseñados frente a cargas de levantamiento) con contrapeso exento al tablero en estribos (figura 9).



Figura 9. Vista del contrapeso ejecutado y en planos.

En cuanto a la definición de las vinculaciones frente a cargas horizontales, se plantean topes transversales y longitudinales. Los primeros se disponen en torres y estribos y los segundos únicamente en torres. Estos últimos se diseñaron frente a la acción sísmica, ya que presentan la holgura suficiente entre tablero y torres como para que no actúen frente a acciones lentas.

1.3. Desarrollo de puentes atirantados en Perú

La tipología de puente atirantado tiene mucho desarrollo por delante en el país, tal y como se demuestra en la figura 10. Como puede apreciarse de la línea temporal, el primer puente atirantado definido en el país data de 1998 (Puente Yanango, Jack López Ingenieros S.A.C.), con una modesta luz de 150.00 m.

A partir de ahí, apenas se produce desarrollo de la tipología, con algunas referencias distanciadas por años en el tiempo sin superar la barrera de los 200.00 m de luz.

La tendencia actual reflejada a partir del año 2020, en la cual se ha producido un incremento del número de proyectos y de realizaciones de obra de esta tipología, alcanzando los 241.50 m del Puente Nanay (récord de luz atirantado en el país en la actualidad) construido en el año 2021, y el Puente Huallaga objeto del presente artículo (segundo puente atirantado de mayor luz del país), ambos proyectados por Jack López Ingenieros S.A.C.

Existen proyectos en la actualidad a la espera de licitación de obra que mantendrán la tendencia al alza de la tipología, superando las luces definidas (Puente Asháninca, Arenas & Asociados, 270.00 m de luz), e incluso se tenderá a desarrollar otro tipo de puentes atirantados como son los puentes extradados, tipología muy extendida en otros países y que en Perú cuenta con pocas referencias (Puente Pachitea, Cesma Ingenieros, 180.00 m de luz).

2. Modificaciones planteadas al proyecto durante la construcción

En la etapa preliminar al inicio de la obra, se desarrolló un análisis y revisión crítica del proyecto original, presentándose una serie de cambios y modificaciones que facilitaban la construcción y, a juicio de los autores, mejoraban el comportamiento del puente en servicio. Se detallan en los siguientes apartados las modificaciones que lograron desarrollarse con éxito.

2.1. Anclajes de tirantes

El anclaje de tirantes en tablero se propuso mediante unión soldada (figura 11), en vez de la atornillada que se proponía en proyecto, con el objetivo de recoger y aprovechar todas las ventajas que este tipo de unión ofrece, no sólo desde un punto de vista de rigidez sino, sobre todo, desde un punto de vista de ejecución y control geométrico ya que, una vez se fabrican las diferentes piezas en taller, la unión soldada de la viga metálica longitudinal permite un control geométrico directo del replanteo del tubo guía.



Figura 10. Desarrollo de puentes atirantados en el Perú a la fecha (2025).

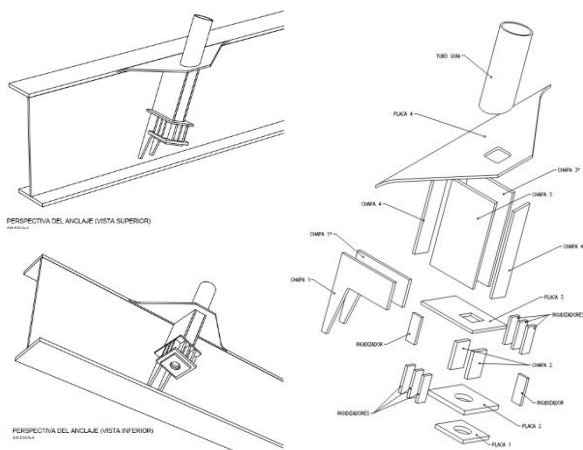


Figura 11. Perspectiva y despiece de elementos del anclaje de tirantes definido en el tablero.

Se consigue, de esta manera, una mayor economía de este tipo de unión frente a las uniones atornilladas en obra y, al ejecutarse en taller, ofrece una mayor versatilidad y se cuenta con un mayor control de los defectos que pudieran provocar fallo frágil o por fatiga.

Particularmente importante es la reducción de tiempo de ejecución del montaje de la estructura metálica del tablero al eliminar procesos de atornillado en obra, debido a que las uniones vendrían ejecutadas desde taller con la orientación y ajuste geométrico adecuado.

En el caso de los anclajes de tirantes en torre, la propuesta de modificación respecto del detalle definido en el proyecto original nació de la experiencia de los autores en proyectos similares, y de la tendencia internacional en los últimos años en puentes atirantados de disponer una sección mixta acero – hormigón en la parte superior de las torres de atirantamiento, concretamente en el nivel a partir del cual se producen los anclajes de los tirantes.

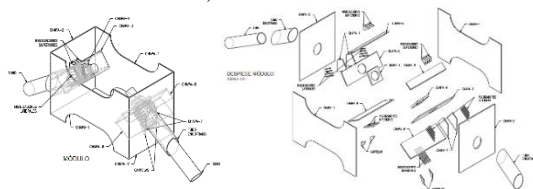


Figura 12. Perspectiva y despiece de los elementos del anclaje de tirantes en las torres.

Esta sección mixta se materializa a partir de un cajón metálico (anchor box, figura 12) encargado de recoger la componente horizontal de tracción de los tirantes y transmitir la

componente vertical de compresión y los esfuerzos de flexión a la parte de hormigón de la torre a través de pernos conectadores. Esta propuesta de ingeniería no logró tener éxito y acabó ejecutándose en obra el anclaje definido en proyecto, consistente en la disposición en la sección de la torre de barras de pretensado en dirección transversal y en dirección longitudinal.

3. Proceso de construcción

3.1 Planteamiento en proyecto

El proceso de construcción definido en el proyecto original planteaba la ejecución del tablero mediante la técnica de avance en voladizos sucesivos simétricos desde las torres, empleando para ello carros de avance y barcasas ubicadas en el río para el suministro e izaje de dovelas del tramo central. La complejidad técnica que planteaba este procedimiento se entiende a partir de los siguientes puntos:

- Mayor complejidad en el control geométrico.
- Mayores riesgos asociados al tipo de procedimiento de construcción debido a hipótesis de cálculo accidentales.
- Dependencia del río Huallaga en cuanto a velocidad, caudal y calado para el funcionamiento óptimo del sistema de barcasas para suministro de dovelas.
- Duplicación de actividades de izaje, ya que se tendría que izar primero el módulo de vigas longitudinales y transversales de la estructura metálica del tablero y, posteriormente, las losas prefabricadas.

El proceso de avance en voladizos sucesivos balanceados desde torre es el sistema constructivo idóneo en este tipo de puentes siempre y cuando no se tenga acceso o sea realmente complejo el acceso a los vanos laterales del tablero. No es el caso del Puente Huallaga, ya que la altura de los vanos laterales a la estructura presentaba distancias razonables

(en torno a los 8.00 – 10.00 m) que podían abordarse con apoyos provisionales y ejecución del tablero mediante dovelas izadas con medios de construcción ligeros.

3.2 Proceso de construcción desarrollado

Dado el emplazamiento y los recursos disponibles por parte del contratista, se optó por un proceso de construcción del tablero basado en la ejecución de los vanos laterales sobre apeos provisionales (figura 13) para, una vez construida esta parte de la estructura junto con los terraplenes de acceso, avanzar en el vano principal por avance en voladizo con el empleo de grúas telescópicas sobre tablero. Mediante el montaje de las vigas longitudinales y transversales por separado, se consigue reducir pesos de izaje y, por lo tanto, la potencia de los medios de izaje a emplear.

Aunque se aumenta el número de operaciones a la hora de montar cada uno de los módulos, se reduce considerablemente su peso facilitando el montaje y su colocación y manejo.

El procedimiento de construcción propuesto ha sido llevado a cabo con éxito por los autores en varios proyectos, destacando el Puente Waterford, en Irlanda [2] y recientemente en el Puente internacional Gordie Howe, entre Canadá y EE. UU. [4].



Figura 13. Detalle de los apeos provisionales dispuestos para la ejecución de los vanos laterales.

Una vez realizado el montaje de las vigas longitudinales y transversales, se izaron a pie de tablero cada una de las losas prefabricadas (figura 14) y se materializaron las uniones entre ellas, estando las dovelas del vano lateral preparadas para ejecutar el tesado de tirantes en

el momento adecuado. De esta manera, se contó con todo el contrapeso del vano lateral ya instalado para la ejecución del vano principal; garantizando, por lo tanto, la geometría precisa de dicho vano y facilitándose la ejecución del vano central.



Figura 14. Montaje de losas prefabricadas del vano lateral.

El proceso de construcción descrito es común en este tipo de puentes atirantados con tablero mixto [2, 4]. Sin embargo, resultó ser un proceso pionero en la construcción de puentes en el Perú. Tal y como se puede ver en el subapartado 1.3, la ejecución de otros puentes similares del país, como es el caso del Puente Nanay, empleó otras metodologías. En ese caso, se decidió emplear carros de avance en el vano principal, avanzando en voladizo e izando las dovelas metálicas completas mediante barcasas y, una vez cerrado el puente, se ejecutó la losa de hormigón.

En el caso del Puente Huallaga, se prefirió ir ejecutando dovelas completas (incluyendo la zona de losa de hormigón) con el objetivo de lograr un mayor control de la geometría e ir introduciendo de manera progresiva en el sistema las compresiones de los tirantes en la sección mixta. Una vez finalizados los vanos laterales, se procedió a colocar las grúas telescópicas sobre el tablero ya ejecutado para iniciar con el montaje del tramo central.

3.2.1 Descripción del ciclo tipo

El ciclo tipo de ejecución de una dovela del vano principal consistía en las siguientes subfases:

- Avance de grúa a la dovela anterior recién ejecutada.

- Primer tesado del tirante del vano lateral simétrico al tirante del vano central de la dovela ejecutada.
- Instalación de las vigas metálicas: montaje en primer lugar de las vigas longitudinales y, posteriormente, colocación de las vigas transversales arriostradas con la vigueta central (figura 15).
- Primer tesado del tirante del vano central correspondiente a la dovela ejecutada. (figura 16).
- Segundo tesado del tirante del vano lateral.
- Colocación de losas prefabricadas y ejecución de juntas de hormigón in situ hasta la viga transversal del frente de fase.
- Segundo tesado del tirante del vano central.

El ciclo descrito se modificaba ligeramente en cada dovela, en función de los requerimientos estructurales de todos los elementos del puente.

Concretamente, el procedimiento de construcción (de más de cuatrocientas etapas de cálculo), se diseñó teniendo en cuenta, entre otros aspectos, las siguientes restricciones:

- Alcanzar, en el momento de puesta en servicio del puente, similares esfuerzos en todos los elementos a los esfuerzos de carga permanente del puente considerado como construido de una sola vez.
- Control de las tensiones en la estructura metálica del tablero.
- Controlar las tensiones de tracción en el hormigón del tablero.
- Mantener la excentricidad de los esfuerzos en la torre dentro del núcleo central de la sección, con objeto de reducir fisuraciones que aportasen incertidumbre al control geométrico por pérdida de rigidez [5].
- Evitar que la tensión en tirantes superase el 45% de su tensión de rotura [1].
- Controlar las reacciones en los aparatos de apoyo de estribos para que no superasen las cargas de diseño a puente cerrado.



Figura 15. Izaje de viga transversal a frente de fase.

El resultado del estudio a detalle del proceso de construcción, teniendo en cuenta todos los condicionantes descritos, fue que, para satisfacer los estados límite durante la construcción, no hubo que reforzar ningún elemento principal del puente.

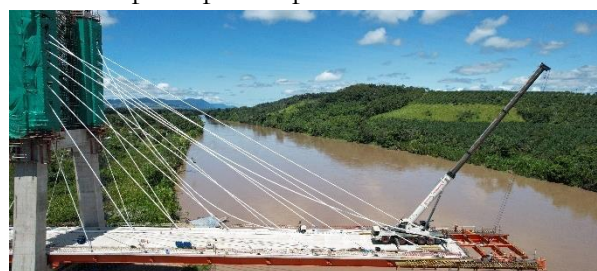


Figura 16. Colocación de tirante en vano central.

La capacidad de producción y el rendimiento en obra, después de las primeras dovelas, fue muy alto: se alcanzó un ritmo de una dovela cada 8 días completándose los 220.50 m de estructura del vano central en cinco meses, desde enero de 2023 hasta el cierre de la estructura conseguido en mayo de 2023.

3.2.2 Ciclo de cierre

El ciclo final de cierre, que incluía la conexión de los voladizos, tenía ciertos matices que merecen ser mencionados. Antes de comenzar el último ciclo, al no existir dovela de cierre definida en el proyecto original, se estableció una maniobra de gateo longitudinal desde la torre derecha antes de la ejecución de la última dovela, de forma que hubiese suficiente espacio para su instalación, incluso teniendo en cuenta los movimientos longitudinales fruto de las variaciones por temperatura y viento. Tras colocar las vigas de la última dovela, se realizó el primer tesado de la décima pareja de cables del vano principal y se dispusieron las losas prefabricadas (además de hormigonarse las juntas).



Figura 17. Colocación de vigas metálicas de la última dovela.

A continuación, tal y como preveía el plan de montaje, se procedió a retrasar las grúas una distancia de cinco dovelas.

Esta maniobra, junto con el posterior retesado de la décima pareja de tirantes, elevó la posición de los voladizos casi 25 cm, valor muy cercano a la estimación del modelo de cálculo. Con los dos voladizos a la misma cota, se inició la maniobra de gateo desde la torre derecha, para recuperar la posición de ambos voladizos y enfrenar las vigas longitudinales, y se procedió a ejecutar la unión atornillada en ambos voladizos. Realizado el cierre del vano central, se eliminó el bloqueo longitudinal de la torre, se realizó un último retesado de la décima pareja de tirantes, se colocaron las últimas losas prefabricadas y se hormigonaron las juntas y voladizos transversales restantes.

Las últimas fases de ejecución de la estructura fueron la colocación del pavimento asfáltico, ejecución de las barreras de contención in situ, desarrollo de la prueba de carga estática y dinámica de la estructura y realización de acabados.

3.2.3 Control durante la construcción

Para garantizar la correcta ejecución del puente, se llevó a cabo un exhaustivo control en la geometría y en las cargas de tirantes. Con el modelo de cálculo fase a fase desarrollado por elementos finitos (donde se modelizaban las torres y las vigas metálicas como elementos tipo *beam*, la losa del tablero como elementos tipo *shell* y los tirantes como elementos tipo cable), se analizaron todas las etapas de construcción mediante un análisis lineal, con aproximación iterativa de la rigidez de los tirantes en función de su carga en cada una de las fases [6], y considerando los fenómenos reológicos. Del análisis fase a fase se obtenían las deformaciones en cada etapa. Para evitar confusiones debidas a los efectos térmicos y las sobrecargas en el tablero, los levantamientos topográficos se realizaban a primera hora de la mañana y con la configuración de sobrecargas en tablero en base a las definidas en el modelo de cálculo [7].

3.2.4 Resultado final y ajustes

El seguimiento continuo del montaje, y la presencia de ingenieros en las fases críticas de la obra, permitió obtener una geometría final precisa, sin la necesidad de realizar fases de retesado no previstas inicialmente. La correcta aplicación en obra de las cargas de tirantes definidas en el proceso constructivo evitó, a su vez, la compleja tarea de destesado o retesado simultáneo de todos los cordones de los tirantes.



Figura 18. Vista general del Puente Huallaga.

7. Cuantías principales

Tabla 1. Valores de cuantías principales

Material	Valor	Unidad	Cuantía
Hormigón losa	1 662	m ³	0.27 m ³ /m ²
Acero pasivo losa	347 216	kg	209 kg/m ³
Acero estructural*	1 781	t	291 kg/m ²
Tirantes**	152 920	kg	25 kg/m ²

(*) Acero estructural ASTM A709 Grado 50 (345 MPa de límite elástico).

(**) Acero de alto límite elástico de baja relación ASTM A416, calidad 270 (1860 MPa de tensión de rotura).

8. Ficha técnica

- **Propiedad:** Provías Nacional.
- **Contratista:** Consorcio CPHI (TAPUSA, Termirex y HB Sadelec).
- **Proyectista:** Jack López Ingenieros.
- **Supervisión:** AYESA Sucursal Perú.
- **Asistencia técnica al contratista:** Carlos Fernández Casado S.L. – Hualca Ingenieros S.A.C.
- **Suministrador estructura metálica:** Taller metálico Cemprotec.
- **Suministrador tirantes:** VSL International Ltd.
- **Juntas de dilatación:** MAURER SE.
- **Apoyos:** HIRUN International.
- **Barras postesadas:** FREYSSINET.

Referencias

- [1] fib Task group 5.5 “Cables for cable-supported bridges” (2019). *Acceptance of cable systems using prestressing steels. Fib Bulletin 89*, Fédération internationale du béton (fib).
- [2] Astiz, M. A., Manterola, J., Tarquis, F., Muñoz-Rojas, J., Santos, A., Blanco, L., Fernández, S. (2011) El puente atirantado

sobre el río Suir en Waterford, *Hormigón y Acero*. 62 (262): 7–37.

- [3] Ayala, J., Rudolf Bergerman, M. S. (1999) El puente atirantado Ting Kau, Hong Kong, *Hormigón y Acero*. 3º Trimestre (213): 7–25.
- [4] Chung, B., Pérez Caldentey, A., Corres Peiretti, H., Martínez Cutillas, A., Milián Mateos, J., Regúlez Pérez, B., Navarro González-Valerio, J. A., Gutiérrez Llorena, A. L. *Puente Internacional “Gordie Howe” – Diseño del tablero del puente principal*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Civil (ACHE), Granada 2025.
- [5] Navarro González-Valerio, J. A., Lucas Serrano, C. (2016) Cálculo y control detallado del proceso de construcción del tramo atirantado del Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz, *Hormigón y Acero*. 67 (278-279): 111–122.
- [6] Manterola, J. (2006) *Puentes. Apuntes para su diseño, cálculo y construcción*, España, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Escuelas.
- [7] Navarro González-Valerio, J. A., Lucas Serrano, C. (2016) Control geométrico del tramo atirantado del Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz, *Hormigón y Acero*. 67 (278-279): 143–158.