

Construcción del tercer puente sobre el canal de Panamá.

Construction of the Atlantic bridge, third crossing over the Panamá Canal

Patrick Ladret ^a, Nicolas Troitin ^b, Antoine Dugain ^c, Matthieu Guesdon ^d, Manuel de la Morena ^e, Laurent Agostini ^f

^a Director Desarrollo Internacional / International business director, Freyssinet SAU

^b Ingeniero Departamento Técnico / Technical department engineer, Freyssinet SAU

^c Director Técnico del Proyecto / Project technical manager, Freyssinet International

^d Ingeniero Principal / Chief engineer, Freyssinet International

^e Ingeniero de producción / Production Engineer, Freyssinet SAU

^f Director técnico / Project Technical manager, Vinci Construction Grands Projets

RESUMEN

El puente Atlántico con 4 vías de circulación y 3,16 kilómetros de longitud se divide en 2 viaductos de acceso y el puente principal con 530 metros de luz central culminando a 82 metros por encima del canal. Los viaductos de acceso con una sección cajón de 20,8 m de ancho de hormigón pretensado han sido construidos en cada margen del canal por la yuxtaposición de un tramo de puente empujado con luces de 45 m y un tramo de voladizos sucesivos de 82 o 125 m de luz.

El puente principal es un puente de 2 pilonos con 4 haces de tirantes con un tablero de sección de doble vigas cajón unidas por vigas transversales y losa construido por voladizos sucesivos.

ABSTRACT

The Atlantic bridge with 4 traffic lanes and 3.16 kilometers in length is divided into 2 access viaducts and the main bridge with a 530 meters main span reaching 82 meters above the canal.

Access viaducts with a 20.8 m wide section of prestressed concrete have been constructed on each margin of the canal by the juxtaposition of a section of several 45m launched spans and a section of successive 82 or 125m long balanced cantilevers.

The main bridge is a 2-pylon bridge with 4 stay cable fans and the deck is a double box girder connected with transverse beams and the slab built in situ with the balanced cantilever method.

PALABRAS CLAVE: tecnología de estructuras, tirante, pretensado, pretensado exterior, amortiguadores, empuje, doble voladizo, levantamiento.

KEYWORDS: technology of structures, Stay cable, prestressing, external prestressing, dampers, pushing, traveller forms, heavy lifting.

1. Descripción del proyecto

1.1 Ubicación

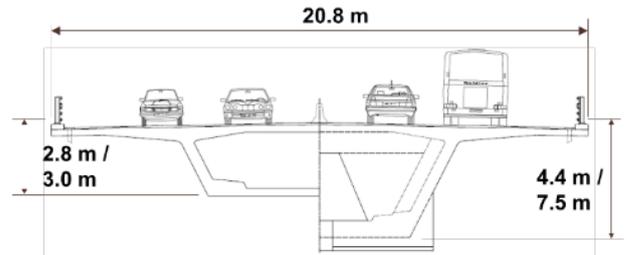
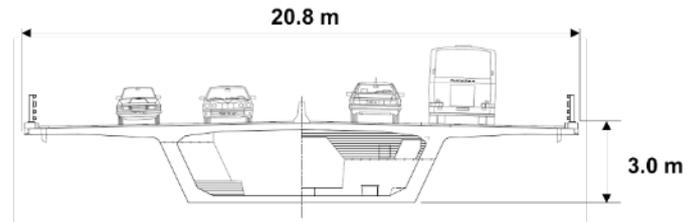
El Tercer Cruce de Panamá, también conocido como el Puente Atlántico, realizado al norte de las esclusas del lago Gatún es el tercer cruce sobre el Canal de Panamá y el primero del lado Atlántico (ver figura 1). Es parte de un proyecto global de desarrollo y compensación por el ensanche de las esclusas a cargo de las autoridades del canal de Panamá (ACP), contribuye a desarrollar el lado este del país a lo largo del Océano Atlántico, en el área de la ciudad de Colón.



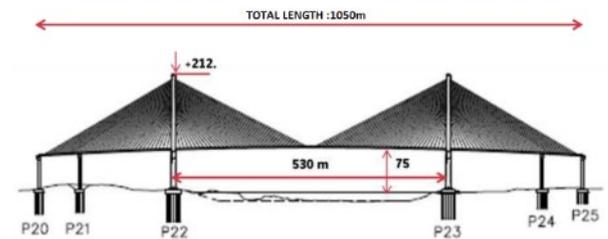
1.2 Geometría de la estructura

La estructura recibe 4 vías de circulación y tiene una longitud total de 3.16 km.

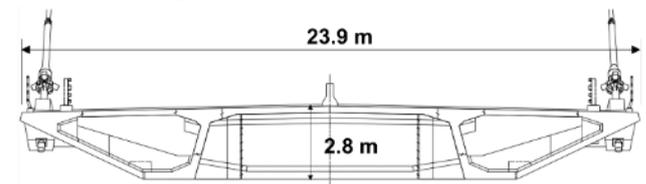
Los viaductos de acceso están formados, en el lado oeste, por un tramo empujado de 360 metros de longitud con 8 vanos de 45 metros y 546 m de puente formado por 6 voladizos de 82 metros; en el lado este tienen 12 vanos de 45m empujados para un total de 540 m y 586 m en voladizos sucesivos con 3 vanos de 82 y 2 de 125 m de luz respectivamente. Tienen una sección de 20,8 metros de ancho (ver figuras 2 y 3).



Con una luz central de 530 m de largo el puente principal ostenta actualmente el récord del mundo de luces atirantadas de hormigón (ver figura 4).



El tablero de 23,9 metros de ancho está formado por 2 cajones laterales y una losa de compresión con vigas transversales en cada tirante (ver figura 5).



Culmina a 82 metros de altura y los pilonos a 212 metros de altura sobre el nivel del mar (ver figura 6). El tablero está sustentado por 256 tirantes repartidos en 8 haces de 32 tirantes cada uno. Los tirantes están separados 8 metros,

distancia impuesta por la longitud de doveta hormigonada in situ con carros de avance autoportantes.

Por ello las unidades de tirantes son de tamaño modesto de 19 a 48 cordones cada una con longitudes de 55 m hasta 287 m para el cable más largo del tramo principal. El peso total del tirante es de 1840t.

Los pilonos en forma de delta se han construido totalmente en hormigón. Por ello el cabezal que recibe la compresión de las 2 piernas y sobre el cual apoya el tablero está fuertemente pretensado.

Así también las piernas en las zonas superior donde se anclan los tirantes están pretensadas tanto longitudinal como transversalmente para equilibrar las componentes de fuerzas horizontales de tracción que ejercen los tirantes.

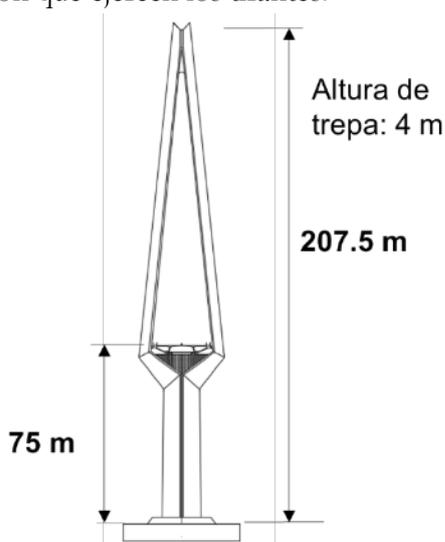


Figura 6: Alzado del pylon

En los vanos de retenida el tablero descansa en 2 pilas por cada lado, la pila estribo y una pila intermedia con dispositivos anti-levantamiento.

Estando el puente en zona sísmica, consta de un aislamiento de la superestructura al descansar sobre apoyos pendulares.

Los métodos de construcción específicos que se describen en el párrafo 4, obligaron a buscar soluciones para la integración del sistema

de conexión del cable a la estructura para lograr las exigencias geométricas y de durabilidad de la estructura.

1.3 Principales cantidades

Tabla 1. Principales cantidades.

Sección	Unidad	Cuantía
Superficie total del tablero	m ²	80.000
Hormigón para pilotes	m ³	31.005
Hormigón para zapatas	m ³	46,949
Hormigón para pilas y estribos	m ³	16.452
Hormigón tablero	m ³	45.574
Ferralla para pilotes	t	6.307
Ferralla para zapata	t	7.321
Ferralla para para pilas y estribos	t	3.932
Ferralla para tablero	t	10.877
Acero activo	t	2089
Tirantes	t	1840

2. Vida útil y durabilidad en condiciones climáticas extremas

2.1 Requerimientos acordes a la agresividad del medio ambiente

El principal reto del diseño fue la durabilidad puesto que el puente se ubica en una de las zonas más agresivas del mundo [1] en cuanto a la corrosión:

- Panamá es un país de clima tropical, con una temperatura bastante alta a lo largo del año,
- el nivel de humedad en la bahía de Limón se incrementa debido a la presencia de una gran cantidad de agua a ambos lados de la zona con el océano a un lado y el lago Gatún en el otro,
- a proximidad, se encuentra el Punto Galeta, lugar de referencia para la corrosividad más alta del mundo, hasta 10 veces más que un entorno marino estándar.

Ante la dificultad de proteger el acero contra la corrosión en este entorno, fueron descartadas dentro de lo posible las estructuras metálicas o mixtas. Por ello tanto los viaductos de acceso como el pilono y el tablero del puente principal son integralmente de hormigón.

La vida útil de diseño del puente es de 100 años para los elementos no sustituibles, de 60 años para los elementos sustituibles con los 25 primeros años libres de mantenimiento y pasado este periodo, con mantenimientos periódicos cada 15 años.

Los elementos activos, tanto pretensado como tirante, son forzosamente de acero. Así que las exigencias de durabilidad en este entorno hostil llevaron a seleccionar productos y a proponer mejoras de la tecnología y del uso como se detallan a continuación.

2.2 Aplicación a las tecnologías usando aceros activos

2.2.1. Sistema de pretensado

El sistema de pretensado empleado ha sido de tipo PL2 según las recomendaciones PTI M50.3.12 [2], en condiciones muy agresivas para la zona de introducción de carga conforme a la AASHTO [3].

Este nivel de requerimiento del PTI pretende evitar la contaminación por migración de oxígeno, humedad o iones hacia los componentes del tendón.

Por ello el tendón está contenido en una vaina de polipropileno virgen (no reciclado y no reprocesado), con conexiones estancas previamente calificadas con prueba de aire.

Los elementos metálicos de introducción de la carga (tromplacas) están protegidos con pinturas epoxi o zinc y una vez tesadas, las cabezas de anclaje del tendón se cubren con unos capots de plástico o de acero inoxidable; el conjunto forma así un tendón estanco y probado al aire antes de ser inyectado con una lechada “premixed”

cumpliendo los requisitos de la ASTM en términos de durabilidad. Por ello fue necesario importar materiales de Estados Unidos al no disponer de equivalentes en la zona y mantenerlos en contenedores refrigerados. Una vez finalizada la operación de inyección, la zona expuesta de los capots se cubre para prevenir la migración del agua, ya sea con mortero o mediante un revestimiento elastomérico. Todos los elementos que forman la cadena de inyección han sido calificados para una presión nominal de 150 psi (1 MPa) incluidas las tomas y purgas de inyección. Al estar embebidos en la estructura estos elementos ya no se consideran como temporales, por ello fueron fabricados en polietilenos virgen. Para prevenir la migración de agua por estos puntos fueron cerrados por válvulas o tapones que quedan embebidos con un recubrimiento mínimo de 25 mm.

Los métodos de inyección han sido precalificados con ensayos a escala real para verificar el correcto relleno lo que condujo a usar de forma sistemáticamente una inyección asistida por vacío (ver figura 7).



Figura 7: Prueba a escala real del pretensado, verificación del relleno en punto alto.

Al nivel de control de productos, se promovió el control periódico y la certificación CE como garantía de un control calidad superior a los

requisitos ASTM enfocados a un control particular por proyecto. No obstante, ciertas propiedades como el cumplimiento de las exigencias “muy agresivas” para la zona de introducción de carga conforme a la AASHTO obligaron a realizar ensayos de calificación en unidades representativas de la gama empleada puesto que el límite de apertura de fisura sobre bloques de hormigón confinado bajo carga estática o cíclica es más estricto que el estándar europeo definido por la ETAG 013 [4] (ver figura 8).

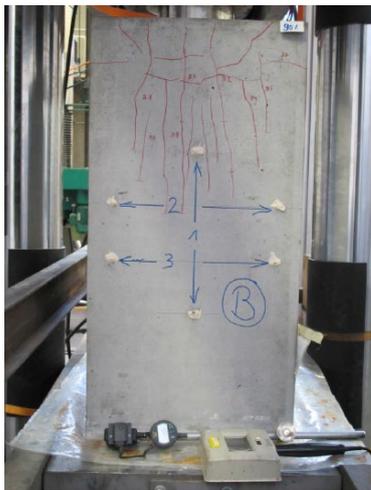


Figura 8: Mapa de micro fisuras en un lateral del bloque de ensayo para unidad 27C15, tesado al 90% de la carga de rotura característica (F_{pu})

2.2.2. Sistema de tirante

Este puente es el tercer puente sobre el Canal de Panamá en ser equipado con el sistema de cordones paralelos de la gama Freyssinet H2000, después del Puente Centenario a principios de los años 2000 y el Puente de las Américas en 2009. A pesar de disponer de una amplia retroalimentación sobre el uso de esta tecnología en estas condiciones, los requisitos del proyecto se extendían mucho más allá de las necesidades anteriores que cualquier sistema tenía que atender y por ello se tuvo que poner a punto protecciones reforzadas.

3. Sistemas de cables de alta durabilidad

El estricto cumplimiento de los requisitos para garantizar la durabilidad debe cumplirse sin ningún impacto en los detalles del sistema de cable para no poner en cuestión la validez de su homologación y su robustez.

3.1 Recubrimientos para componentes accesibles expuestos

Para garantizar una durabilidad de los sistemas de protección superior a 25 años antes del primer mantenimiento, todos los componentes accesibles de acero estándar como los capots, los tubos antivandálicos y los tubos guía para amortiguadores fueron diseñados con un revestimiento superpuesto de galvanización en caliente y pintura C5M-H, según ISO 12944 [5].

3.2 Protección para componentes de anclaje no accesibles

Los componentes que no son accesibles deben tener una durabilidad igual o superior a la vida útil del diseño de 60 años sin merma de sus funciones.

Se optó por un recubrimiento robusto ante impacto y altamente duradero en base a una metalización en caliente de aluminio-zinc de fuerte espesor. Presenta las ventajas de la protección galvánica al crear un efecto de barrera activo ante daños locales, a la diferencia de un sistema con pintura o recubrimiento polimérico, que aseguran su protección sólo si la barrera es continua (por ejemplo, sin ningún rasguño o daño local).

Sin embargo, el recubrimiento de protección galvánica de fuerte espesor no es compatible con las tolerancias de mecanizado de los componentes con roscas estructurales, tal como se presenta en el bloque de anclaje ajustable y los tubos de ajuste.

Para permitir el retesado como el detesado del anclaje durante el servicio, parte de la rosca se encuentra por encima de la placa de apoyo y parte por debajo. La parte por encima se englobó en el capot inyectado de cera mineral y constituye una protección permanente. La parte por debajo de la placa es no accesible durante el montaje y servicio.

Para esta parte, se concibió una junta de compresión entre el anclaje y el tubo de encofrado con un cierre automático (anillo interior) y seguro activado por el propio montaje. Dicho dispositivo, fabricado en el mismo material que se utiliza para asegurar la estanqueidad del anclaje, permitió crear un área totalmente encapsulada cubriendo toda la zona de rosca sea cual sea la posición de esta (ver figura 9). Como todas las funciones del anclaje Freyssinet, esta función es reversible.

El recinto estanco así formado está protegido contra la corrosión mediante la inyección de un polvo inhibidor de corrosión de tipo “vapor corrosión inhibidor” (VCI) especialmente indicado para recintos confinados como, por ejemplo, cascos de barcos y así se recreó un sistema de protección de 3 capas en la parte roscada no accesible del anclaje: metalización de zinc-aluminio, relleno de inhibidor de corrosión y barrera hermética con la junta comprimida.

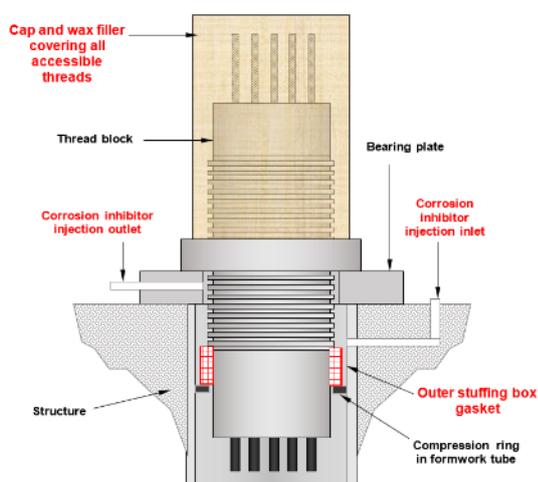


Figura 9: Encapsulación de la zona no accesible del anclaje

3.3 Protección contra la vibración

La atmósfera corrosiva influyó también en la elección de la tecnología de amortiguadores para los tirantes.

Las especificaciones requieren el suministro de unos amortiguadores de gran eficiencia con el objetivo de mitigar la vibración y consecuentemente garantizar la durabilidad del tirante al reducir sus sollicitaciones tangenciales y desgastes.

- Amortiguamiento adicional efectivo del 4% de decremento logarítmico (a continuación δ) en cualquier dirección. Este valor se comprobó in situ tras instalación.
- Amplitud máxima de 1/1700 bajo vientos de servicio para los 2 primeros modos de vibración.
- Amortiguadores a ambas extremidades del cable.
- Exclusión de los amortiguadores externos a favor de los amortiguadores internos conectados a los tubos de encofrado de la estructura.
- Amortiguadores con una vida útil de 20 años y con una solución intercambiable.
- Solución con amplia experiencia en puentes de luz superior a 300 metros.

Se optó por una solución de amortiguadores radiales internos (IRD), alojados dentro de un tubo guía conectado al tablero (ver figuras 10 y 11). Se dispusieron a una distancia “optimizada” y se optó por amortiguadores de carrera y capacidad importante, “empujando esta solución hasta su límite” para poder proporcionar un 4% de decremento adicional con 1 único amortiguador situado por encima del tablero en un entorno protegido contra la corrosión y accesible usando componentes modulares altamente duraderos pero flexibles.

Esta opción fue aceptada por el cliente final (la Autoridad del Canal de Panamá) al reducir los costes de mantenimiento y simplificar las interfaces y colocación de elementos con vida

útil inferior a 10 años en lugares de tan difícil acceso como la cara exterior de los pilonos.



Figura 10: Montaje de amortiguador IRD estándar

Para conseguir las exigencias de proyecto con la tecnología del IRD se emplearon:

- a. Pistones de hasta 100 mm de carrera (el doble del estándar).
- b. Tubo guía de hasta 2,3 m de longitud para optimizar el funcionamiento del amortiguador.
- c. Calificación de las protecciones de los componentes para lograr una durabilidad de 20 años (antes del primer mantenimiento) en un ambiente del tipo C4M al estar protegido de los agentes externos. Para ello, se realizaron ensayos de corrosión acelerada como ensayos de niebla salina para la elección del sistema de pintura de los amortiguadores, protección de los pistones, precauciones de sellado de los componentes mecánicos y montaje.

El rendimiento de los amortiguadores se verificó in situ sobre 8 tirantes representativos, incluidos los dos más largos. Se provocó una vibración artificial importante (del orden de un diámetro) sin y con amortiguador respectivamente. La diferencia entre el δ total registrado por el amortiguamiento con el IRD conectado y el amortiguamiento intrínseco medido con tirante en modo libre nos proporciona el amortiguamiento adicional aportado por el IRD.



Figura 11: Vista del amortiguador IRD y de los tubos expuestos con galvanizado + pintura C5MH.

Los resultados fueron muy cercanos a los cálculos teóricos, con una relación de amortiguación que oscilaba entre el 5% y el 6,5%, superando las especificaciones y mostrando la fiabilidad de esta tecnología.

La instalación del amortiguador se realiza generalmente al final de la obra después de la instalación de carga muerta, lo que alarga la finalización de los trabajos. Con el fin de optimizar recursos, se definió un método de instalación de los amortiguadores de manera anticipada. Esto fue posible gracias a un trabajo conjunto con el proyectista y el ingeniero de control de geometría para anticipar el movimiento del tirante y la rotación del tablero tomando en cuenta el histórico de deformaciones reales del puente.

Esto llevó a los siguientes resultados:

- a. El 40% de los amortiguadores se pudieron instalar después del cierre del tramo principal, antes de las últimas operaciones de pretensado de cosida del tablero.
- b. El 20% de los amortiguadores se pudieron instalar después de las últimas operaciones de retesado sin ningún ajuste.

- c. El 40% de los amortiguadores se pudieron instalar antes de la instalación de la carga muerta, proporcionando algún decalaje en los amortiguadores.

4. Puntos destacables de los métodos de construcción

El puente Atlántico se puede considerar como una escuela del puente de hormigón construido in situ. A continuación, se destacan algunas particularidades de los métodos.

Inicialmente diseñados como viaductos de dovelas prefabricadas de varios cantos, los viaductos de acceso fueron cambiados a viaductos in situ para poder construir ambos a la vez y responder a las exigencias de la planificación. Debido a la inconsistencia de los suelos y a la imposibilidad de cruzar el canal se descartó la hipótesis de hacer 2 plantas de prefabricado en cada margen privilegiando soluciones in situ como un empuje desde cada estribo dada la constancia de luces en las rampas iniciales y el acceso libre detrás de los estribos. Para los vanos de mayor luz y altura, se impuso una solución de doble volado cuyas necesidades en términos de carga y movimientos se reduce considerablemente con respecto a un izado de dovelas prefabricadas.

4.1 Viaductos de acceso: Empujes

Se adaptó el tablero con un canto y una pendiente de 5% constantes, un radio en planta de $R=5000$ metros en la margen oeste. Resultó entonces en una rampa con un peso lineal de 35t/m y vanos de 45 metros que se construyeron en 4 dovelas. Se empujaron por vano de 45 metros tras un pretensado conjunto de vano interior y exterior centrado (con 8 tendones 27C15A'D) (ver figuras 12 y 13). Este tipo de trazado y pretensado siendo muy poco usual para un diseño conforme a AASHTO. El pretensado transversal poco usual para secciones de este ancho tenía como función limitar la

fisuración de la losa por tema de durabilidad y se tesaba al 100% antes de empujar.

Finalmente, el ciclo de construcción y lanzamiento de un vano de 45 metros se realizó en 3 semanas.



Figura 12: Vista de la rampa Lado Este tras empuje.



Figura 13: Pretensado de empuje del vano completo.

Una vez llegado a su posición final definitiva, se procedió a la puesta sobre apoyos pendulares y a la aplicación del pretensado exterior desviado solapando 2 a 3 vanos.

4.2 Viaductos de acceso: doble volado

Los vanos con dovelas prefabricadas de canto variable de 78 metros fueron sustituidos por vanos de 82 metros in situ.

Para respetar la planificación se dispusieron 2 pares de carros para vano de 82 metros y 1 par de carros para vano de 125 metros. Con el objeto de optimizar el planning y reducir el trabajo en altura en el traslado de carros, estos equipos fueron preensablados sobre unos bastidores al nivel del suelo e izados y bajados enteros hasta/desde la posición sobre dovela de pila usando gatos de cordones con doble anclaje (heavy lifting jacks) (ver figura 14). En total se realizaron 58 operaciones de izado/descenso.



Figura 14: Izado de carros y gatos de heavy lifting.

El ciclo de construcción en 4 días de un par de dovelas de 3,5 metros de longitud pretensadas con 2 cables 25C15 ha sido estándar. No obstante, cabe destacar el impacto del fuerte pretensado transversal que se debía aplicar en 2 fases por tema de resistencia y capacidad de la losa. La primera fase se tesaba desde el carro ayudando a desencofrar y la segunda posterior al paso del carro obligaba a usar medios auxiliares laterales de acceso (ver figura 15).



Figura 15: Pasarela de acceso al borde del tablero para pretensado transversal tesado en segunda fase.

Los vanos laterales de los puentes de voladizos exigieron medios auxiliares de gran altura y gran capacidad (ver figura 16). Se desarrollaron torres telescópicas de 60 metros en total que permitieron ensamblar los encofrados a una altura reducida con grúas de capacidad moderada

e izar las torres de apeo mediante gatos de cordones con doble anclaje de forma simultánea.



Figura 16: Torres de apeo del vano lateral.

Una vez realizadas las dovelas de cierre y tesado el pretensado de continuidad inferior de centro de vano, se procedió a la puesta sobre apoyos pendulares y a la aplicación del pretensado exterior desviado con cables de hasta 180 metros de longitud solapando 2 vanos.

4.3 Puente principal

El tablero integralmente de hormigón llevó a una construcción por segmentos de 8 metros de longitud con 250 toneladas de peso construidos con un carro de 180 toneladas.

Para limitar las cargas y garantizar al mismo tiempo una geometría adecuada, se estableció un ciclo de construcción complejo que incluye (ver figura 17):

- a. la instalación de parte de las vigas laterales y de la riostra, prefabricadas y colocadas en el encofrado con grúa móvil y ripadas en su posición,
- b. 3 fases de vertido de hormigón con sucesivos pretensados transversal de riostra y longitudinal,
- c. 1 fase de instalación y tesado de los tirantes tras el primer vertido, seguido de un retesado del tirante tras el segundo vertido.

El ciclo de construcción del tablero fue de 6 días.

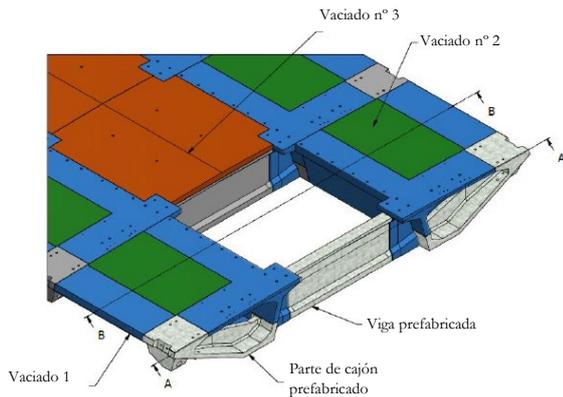


Figura 17: Fases de construcción y hormigonado del tablero del puente principal.

La parte prefabricada de viga lateral integraba los tubos de encofrado (ver figura 18). A su vez los tubos de encofrado del pylon estaban orientados como elementos integrados en un derrick metálico embebido en el hormigón y que aseguraba la precisión de una geometría de sistema prefabricado con juntas conjugadas (ver figura 19).

Estos métodos permitieron reducir los errores de instalación de los tubos de encofrado y asegurar con éxito el correcto posicionamiento del tirante.



Figura 18: Elemento de viga de tablero prefabricado con tubo de encofrado.



Figura 19: Derrick con tubo de encofrado superior embebido dentro del paramento del pylon.

El método de construcción del tablero se realizó por el control de geometría y deformaciones y control de longitud del tirante. Este método tiene la ventaja de ser independiente de las cargas de construcción durante el montaje y tesado de los tirantes aliviando el ciclo de construcción del tablero.

La operación de retesado después de la segunda operación de vertido de hormigón, seguida de un último control topográfico sirve para asegurar la geometría del tablero.

Con este método de construcción a la geometría final del puente, sólo la mitad de los tirantes fueron retesados después del cierre del tablero lo que supuso un ahorro de tiempo considerable en la recta final de la obra.

Previo a esta operación, el pesaje de los 256 tirantes fue necesario, cabe destacar que gracias a la Isotensión® y a la plataforma auto-elevadora que servía de acceso dentro de cada pierna del pylon esta operación, que consiste en obtener la fuerza en algunos cordones de cada tirante, se realizó en menos de 4 horas con 4 equipos de trabajo actuando simultáneamente.

Como operación singular cabe destacar el paso de los encofrados por encima de las pilas de retenida que se hizo con la pila sin su cabezal; ese fue sustituido por un cabezal metálico izado con gatos de cordones y ripado bajo el tablero al cual fue anclado y para resistir las reacciones de tracción en esta zona (ver figura 20).



Figura 20: Paso del carro por encima de las pilas de retenida y cabezal metálico izado y anclado.

Agradecimientos

Agradecemos a la Autoridad del Canal de Panamá y a los equipos de Vinci Construction Grands Projets por la confianza manifestada al elegir las soluciones antes presentadas y permitir nuestra participación y contribución a un proyecto tan singular y a la vez ambicioso en un entorno geográficamente complejo. A la vez agradecemos a nuestros equipos humanos en obra por haber hecho realidad este proyecto.

Principales actores

Cliente: ACP (Autoridad del Canal de Panamá)
Consultor: China Communications Construction Company Highway Consultants & Louis Berger Group.
Constructor: PASA (VCGP . Vinci Construction Grands Projets)
Proyectista: Département Conception et Etudes de Structures (DCES) e IBT para el puente atirantado.

Subcontratista Especializado para pretensado y tirantes e izados: Freyssinet

Referencias

- [1] M. Guesdon, A. Dugain, N. Fabry, I Zivanovic, P Ladret, Martin Duroyon. Third Panama Crossing Project – a new reference in stay cable technology, IABSE, 2019.
- [2] PTI-ASBI M50 3-12 Guide Specification for Grouted Post-tensioning, Junio 2012, EEUU.
- [3] AASHTO LRFDUS-4/LRFDSI-4, LRFD Bridge design specification, 4th Edition 2007. By the American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [4] ETAG 013. Guide line for European technical approval. Post tensioning kits for prestressing of structures. Edition June 2002, EOTA, Brussels.
- [5] ISO 12944 Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. (UNE).