

Puente Gordie Howe. Sistema de tirantes con prestaciones de protección especiales

Gordie Howe Bridge. Stay cable system with out of the ordinary protection systems

Fernando Martínez Pérez-Beato^a, Loukas Zangos^b, Conchita Lucas Serrano^c y

Antonio Vázquez Salgueiro^c

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DYWIDAG. Director de Proyectos. fernando.martinez@dywidag.com

^b Ingeniero Civil (Msc). Dragados Canadá. Stay cable lead Engineer. lzangos@dragados-canada.com

^c Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Dragados SA, Dirección Técnica. Jefa Departamento. clucass@dragados.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dragados SA, Dirección Técnica. Jefe Servicio. avazquez@dragados.com

RESUMEN

Uno de los elementos más destacables del Puente Internacional Gordie Howe es el sistema de atirantamiento del vano principal. Configurados con tirantes de cordones paralelos y varias capas de protección contra la corrosión, tienen una longitud que llega a los 450 m en el caso de los tirantes más largos. Pero, además de sus grandes dimensiones, disponen de una serie de prestaciones adicionales que los hacen aún más singulares: sistema integrado antihielo pasivo y activo, protección contra atentados, sistema anti fuego, monitorización continua y amortiguadores exteriores. El sistema de atirantamiento fue suministrado por Dywidag, garantizando el cumplimiento de los más altos estándares de calidad.

ABSTRACT

The main span stay cable system is one of the most remarkable features of the Gordie Howe International Bridge. These cables consist of parallel strands with multiple layers of corrosion protection. The longest cables extend up to 450 m. But in addition to these impressive figures, they are equipped with advanced features that make them really outstanding: protection against terrorist attacks, a passive and active de-icing system, continuous monitoring, fire resistance and external dampers. The entire system was supplied by Dywidag, ensuring compliance with the highest quality standards.

PALABRAS CLAVE: tirantes, anti-hielo, amortiguadores, fuego, monitorización continua, Dywidag.

KEYWORDS: cable stays, de-icing, external dampers, fire resistance, continuous monitoring, Dywidag.

1. Introducción

El puente Internacional Gordie Howe (GHIB) cruza la frontera entre Canadá y Estados Unidos sobre el río Detroit, en las ciudades de Windsor (Canadá) y Detroit (EE.UU). Tiene una longitud total de 2,5 km y una anchura de 37,5 m que alberga seis carriles para circulación, una acera

peatonal y dos arcones muy amplios, de forma que en el futuro pueda ampliarse a ocho carriles. Está formado por un tramo atirantado de siete vanos y luces 38,5 – 60 – 258,5 – 853 – 253,5 – 60 – 38,5 m, y dos viaductos de aproximación y conecta con los pasos fronterizos en Windsor y

Detroit, respectivamente: el del lado Canadá con 432 m de longitud y vanos tipo de 56 m, y el estadounidense, algo mayor, con una longitud de 543 m y vanos tipo de 73 m.

Sin duda, el aspecto más destacado del puente es el vano principal de 853 m de luz, que constituye el mayor vano atirantado de Norteamérica y el mayor tablero mixto del mundo de cualquier tipología.

La propiedad del puente pertenece a la Windsor-Detroit Bridge Authority (WDBA)

que, mediante una colaboración público-privada, adjudicó el contrato de concesión a Bridging North America (BNA), formada por ACS Infrastructure, Fluor y Aecon, para diseñar, construir, financiar y operar toda la infraestructura. La construcción ha corrido a cargo de la UTE formada por Dragados USA, Fluor y Aecon y el equipo de diseño estuvo liderado por Aecom.



Figura 1. Vista general del puente

2. Sistema de atirantamiento

El sistema de atirantamiento está formado 216 tirantes; 108 de ellos sustentan el vano principal de 853 m de luz (54 en cada semi-vano), y los 108 restantes (54 a cada lado) constituyen los tirantes de retenida que se anclan en los vanos laterales. Los tirantes están situados en dos planos, en los bordes de la sección transversal, por lo que el sistema de atirantamiento confiere al conjunto la necesaria rigidez a torsión que el tablero no posee por ser una sección abierta. Los 216 tirantes, por tanto, están repartidos en 8 planos de 27 tirantes cada uno.

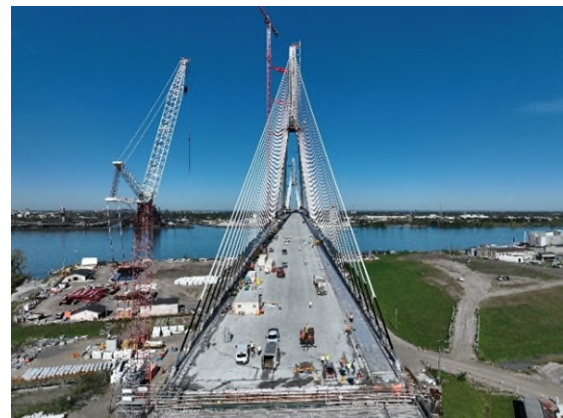


Figura 2. Disposición transversal de tirantes

Los tirantes están formados por cordones paralelos de siete alambres. Cada cordón tiene 15.7 mm de diámetro y 150 mm² de sección, y

están fabricados con acero Y1860 S7. Los cordones, y el sistema de tirantes cumple con el Post Tensioning Institute (PTI) “Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation”, PTI DC45.1-12, 6ª Edición. Sin embargo, es importante destacar que, como no hay actualmente ninguna norma ASTM sobre galvanizado en caliente apropiada para tirantes, los cordones empleados están fabricados con alambres sin galvanizar.

Respecto a la protección contra la corrosión, cada cordón está enfundado en una vaina individual de Polietileno Expandido de alta densidad (extruido con el cordón, tal y como especifica PTI) dentro de la cual se inyecta una cera que rellena los espacios entre cordón y vaina. El haz de cordones paralelos está, a su vez, protegido por la vaina global de PEAD.

La potencia de los tirantes varía desde los más pequeños con 43 cordones hasta los de mayor número con 127 cordones. Se instalaron un total 6.500 toneladas de cordón.

La gran luz del vano central (853 m), unida a la altura tan considerable de los pilonos (220 m), dan lugar a unos tirantes de gran longitud que, en el caso de los más largos, alcanzan los 450 m.

En el vano principal y en la mayor parte de los dos vanos adyacentes de 258 m las parejas de tirantes están separadas 15 m. Sin embargo, en la zona próxima a las pilas de retenida la separación de los tirantes de retenida se reduce a 13 m. Esta disposición de tirantes más próximos junto a las pilas traseras genera, en algunas combinaciones de carga, fuerzas ascendentes (tiros) en las pilas de retenida.



Figura 3. Disposición longitudinal de tirantes

Por este motivo, además de los tirantes portantes, se instalaron en estas pilas 48 tirantes de retenida (tie-downs), 8 en cada una de ellas, tanto en el lado canadiense como en el estadounidense. Estos tirantes de retenida están formados por tirantes DYNA Grip de entre 19 y 31 cordones Y 1860 S7, encerados y enfundados. Se prefabricaron para, posteriormente, instalarlos en las pilas. Se tesaron en dos o tres fases a medida que iba progresando la construcción del tablero.

El sistema de tirantes portantes está diseñado para alcanzar una vida útil de 100 años.

El sistema de protección aplicado más el plan de mantenimiento a seguir, permitirán a los tirantes acompañar al resto de la estructura en sus 125 años de vida de servicio. En el caso de los tirantes instalados en las pilas de retenida (tie-downs), su expectativa de vida útil es de 125 años.

También se ha cuidado en el diseño del sistema de tirantes, tanto en los portantes, como en los de retenida, la protección de éstos frente a la fatiga. Para tal fin, de han dispuesto desviadores de PEAD que evitan ángulos de desvío superiores a los umbrales previamente

definidos. De esta forma, se evita la aparición de ángulos excesivos en el haz de cordones, que generarían tensiones no admisibles a largo plazo.

2.1. Anclajes

En el puente Gordie Howe los anclajes pasivos están situados en el tablero, conectados directamente a las vigas longitudinales (Edge girders), mientras que los anclajes activos están dentro de las torres, sobre unas vigas especialmente diseñadas para ello, adosadas a la estructura metálica de los “armarios” metálicos (anchor boxes).

El proyectista diseñó el anclaje activo con una longitud de rosca de 110 mm e indicó que debía instalarse de forma que sólo permitiera destesados, pues el tablero es tan flexible que cualquier pequeño incremento de carga podría darse con el gato monocordón. Además, el sistema de Dywidag permite retesados de 15 mm, pues han ensayado que con este alargamiento mínimo no hay problemas con el sobremordido de la cuña.

2.2. Prestaciones especiales de los tirantes del Puente Gordie Howe

La magnitud de este puente, con un vano central de 853 m, convierte a los tirantes en elementos singulares *per sé* desde el punto de vista de diseño, la instalación y el mantenimiento. Pero además, el proyecto exigía que los tirantes tuvieran una serie de prestaciones adicionales, que han dado lugar a un sistema de atirantamiento verdaderamente singular. Nos referimos a la vaina global de PEAD con sistema pasivo antihielo, el sistema anti-hielo activo, la protección frente al fuego, el sistema adicional para resistir ataques terroristas y los amortiguadores.

2.2.1. Sistemas antihielo

El puente Gordie Howe está situado en una zona de Norte América en donde las temperaturas en invierno alcanzan con facilidad los -20°C . Bajo estas condiciones, las tormentas de nieve o lluvia helada son habituales y se hace necesario evitar a toda costa la generación de bloques de hielo, cuya precipitación sobre el tablero generaría todo tipo de incidencias en el tráfico de vehículos y viandantes. Hay que tener en cuenta que las previsiones de tráfico en este puente son muy altas, ya que por esta frontera pasa el 20% de las mercancías entre EE.UU y Canadá. El corte del tráfico en el puente es, desde el punto de vista de la explotación de éste, una medida a evitar.

De cara a minimizar el tamaño de los bloques de hielo que pueden caer sobre la calzada y así reducir la afección a los usuarios del puente, y con el objetivo de reducir las vibraciones por ice-galloping en los tirantes, Dywidag ha desarrollado una vaina global equipada con anillos paralelos a intervalos fijos que ayudan a mejorar el comportamiento antihielo. Cuando la temperatura desciende por debajo del punto de congelación en invierno, existe la preocupación de que la nieve y lluvia helada adheridas al tirante se conviertan en grandes bloques de hielo y caigan sobre el tablero causando daños a los vehículos y lesiones a los peatones. Se ha confirmado experimentalmente que estos anillos retrasan el despegue del hielo, de forma que, cuando éste se desprende, el tamaño del carámbano de hielo es suficientemente pequeño para evitar daños.

Adicionalmente se ha verificado el comportamiento aerodinámico de estas vainas con los anillos antihielo. Se han realizado pruebas en túnel de viento y se ha demostrado que esta vaina global tiene un rendimiento frente a las vibraciones típicas del viento equivalente a la vaina global con el fileteado helicoidal doble, sin incrementar de forma relevante el coeficiente de arrastre de los cables.



Figura 4. Detalle vaina global con anillos antihielo

Además, y de cara a un mejor entendimiento de las condiciones de formación de hielo sobre la vaina y del despegue de éste, se han instalado estaciones meteorológicas en las torres principales. La medición de parámetros meteorológicos como la temperatura, velocidad y dirección del viento y la humedad, ayudarán a entender mejor el fenómeno de formación y despegue del hielo sobre la vaina, y por consiguiente, a mejorar las condiciones de explotación del puente y la seguridad de sus usuarios.

La toma continua de datos meteorológicos permitirá con el tiempo la calibración de un modelo predictivo desarrollado por Dywidag. Con este modelo se podrán anticipar de manera cuantitativa potenciales situaciones de riesgo. Por último, el sistema de tirantes está preparado para la incorporación de un sistema activo antihielo que reduciría aún más el tamaño de los trozos de hielo susceptibles de caer sobre el tablero. Consiste en un mecanismo que hace girar la vaina, permitiendo un deshielo de ésta controlado.

2.2.2. Protección frente al fuego

Un aspecto que ha tomado mucha relevancia en puentes atirantados situados en puntos estratégicos durante los últimos años es la protección contra el fuego. Como es sabido, los tirantes se sitúan habitualmente próximos a los carriles de circulación. Esta proximidad

constituye en sí misma un riesgo ante el eventual incendio en algún vehículo.

Este riesgo se minimiza protegiendo el haz de cordones con un sistema frente al fuego. Esta protección no impide el daño irreparable de la vaina global e incluso del enfundado individual de los cordones en caso de incendio, pero sí que asegura el mantenimiento de las propiedades mecánicas del haz de cordones y por tanto, impide la pérdida de un tirante afectado por un evento de fuego.

En caso de que el incendio arruine la vaina global o dañe el enfundado de los cordones en la zona afectada por el fuego, es preciso sustituir o reponer estos componentes. El sistema DYNA Grip de Dywidag permite sustituir cordones, sacándolos de uno en uno por los anclajes inferiores del tablero, sin necesidad de abrir ventana alguna en la zona del tubo antivandálico. En la figura 5 se puede apreciar el cordón con enfundado incluido atravesando el anclaje.



Figura 5. Cordón enfundado atravesando el anclaje

El sistema de protección contra el fuego empleado por Dywidag cumple con los requisitos incluidos en las recomendaciones internacionales y basa su protección en capas anti-fuego flexibles e hidrófobas. El sistema empleado ha sido ampliamente ensayado para distintos tipos de fuego (temperatura y duración).

Esta protección contra incendios se instala hasta una altura de 7,5 m por encima del tablero, pues es la zona donde se ha comprobado que puede llegar el efecto del fuego.

2.2.3. Protección frente a atentados

Para proteger los cables ante un eventual accidente o ataque terrorista se instaló una protección adicional patentada por Dywidag de aspecto exterior similar al de un tubo metálico de gran espesor entre la cota del tablero y los 4 m de altura. Este tubo, que pesaba entre 3 y 10 t, se suministraba abierto en dos mitades articuladas en su generatriz y se instalaba al final. BNA diseñó un pequeño útil para la abertura y cierre de estas piezas que facilitó enormemente la instalación.

El denominado “hardening” de protección contra atentados permitía la sustitución de cordones individuales sin necesidad de actuar sobre él.



Figura 6. Tubos de protección frente a atentados

2.2.4. Amortiguadores exteriores

Cada uno de los 216 tirantes del puente está equipado con una pareja de amortiguadores de tipo hidráulico exteriores, suministrados por Maurer. Los requisitos de amortiguamiento de los tirantes provienen de un profundo estudio aerodinámico del puente y de los tirantes realizado COWI y con la activa colaboración de Dywidag.

Los requisitos de amortiguamiento son más estrictos que los indicados por el Boletín 89 de la fib.

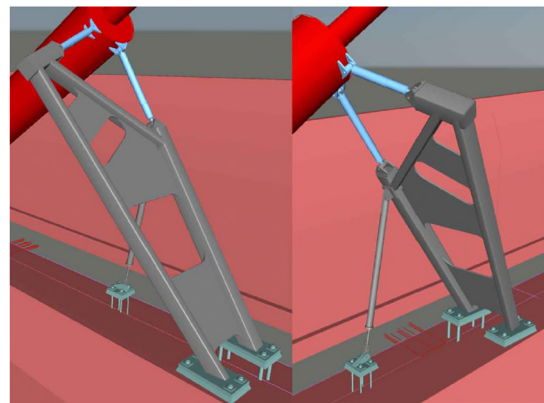


Figura 7. Disposición de amortiguadores

Desde el punto de vista de la instalación de los amortiguadores y como puede verse en la figura 7, fue necesario implementar soluciones singulares de conexión de éstos al haz de cordones y así garantizar el correcto funcionamiento de los amortiguadores, sin reducir o limitar las propiedades de protección especial de los tirantes en los primeros metros sobre el tablero.

3. Instalación de los tirantes

Aunque todos los elementos fueron suministrados por Dywidag, la instalación de los mismos la llevó a cabo el equipo de la UTE, con la supervisión de Dywidag.

3.1. Colocación de anclajes

Para facilitar la instalación y colocar los bloques de anclaje con la mayor precisión posible, se instalaron dentro de los segmentos metálicos correspondientes (tablero o torre) cuando éstos estaban en tierra, antes de ser colocados en altura.

Se cuidó especialmente la alineación de los anclajes sobre la placa de anclaje para cumplir con la tolerancia exigida de 2,6 mrd, disponiendo placas en cuña cuando era necesario.

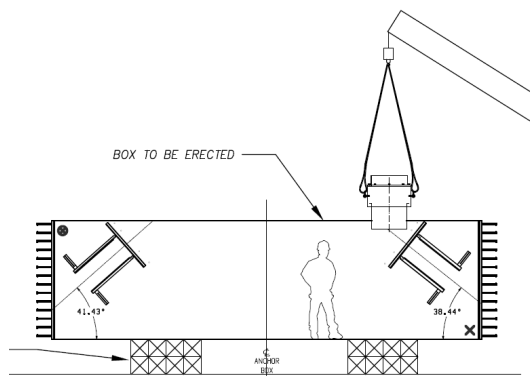


Figura 8. Colocación anclaje en “armario” metálico

La instalación de los 216 tirantes se realizó por parejas. La instalación de cada pareja llevó entre 2 y 5 días, en función de la longitud y número de cordones del tirante en cuestión.

3.2. Montaje de la vaina global

La vaina de Polietileno Expandido de Alta densidad (PEAD) usada en los tirantes de GHIB tiene cuatro partes:

1. Tubo con brida. Es la parte más próxima al tablero, donde va la protección anti fuego. Incluye los anillos paralelos anti-hielo.
2. Vaina convencional. Es la parte más larga y recubre la longitud libre del cable. Va soldada al tramo anterior y también dispone de los anillos anti-hielo.
3. Tubo con anillo centrador. Está en la parte superior del tirante y tiene un anillo más grueso de HDPE donde descansa el tramo libre y permite mantenerlo centrado con el resto de la vaina. También tiene los anillos anti-hielo.
4. Tubo telescópico. Es la zona más próxima a la torre y no está soldada al tramo anterior, sino apoyada en un anillo centrador que permite el movimiento del cable.



Figura 9. Esquema elementos del tirante

La vaina de PEAD se suministraba en tramos de 11,8 m, que se soldaban en obra hasta conseguir la longitud total. El proceso de soldadura a tope consiste en calentar el extremo del tubo hasta que se derrite el material y presionar contra el tubo adyacente, manteniéndolos juntos y sometidos a una cierta presión hasta que se enfrían y solidifican unidos. El proceso de soldadura de la vaina global se realizaba a cubierto, pero a medida que se soldaban los tramos, la vaina se colocaba sobre el tablero con la ayuda de carritos y mesas rodantes.

El sistema activo anti-hielo previsto, que no se ha instalado aún, exige eliminar las protuberancias interiores debidas a la soldadura de la vaina para evitar daños en los cordones, así que tras la soldadura de los tramos, se procedía a retirar dichas protuberancias.

3.3. Instalación y tesado de cordones

Los primeros tirantes en instalarse y tesarse fueron los de retenida, pues el proceso constructivo contemplaba un desfase de 3 tirantes entre el back span y el vano principal.

Una vez soldada la vaina a la longitud prevista y la colocación de resto de piezas que conforman el conjunto vaina global, tubo telescópico y demás elementos de protección, se enfilaba el primer cordón (cordón patrón), cortado a la longitud establecida.

Con el primer cordón enfilado, el conjunto formado por la vaina y demás elementos ya pre-montados se elevaba por el extremo del pilono con la ayuda de la grúa torre.

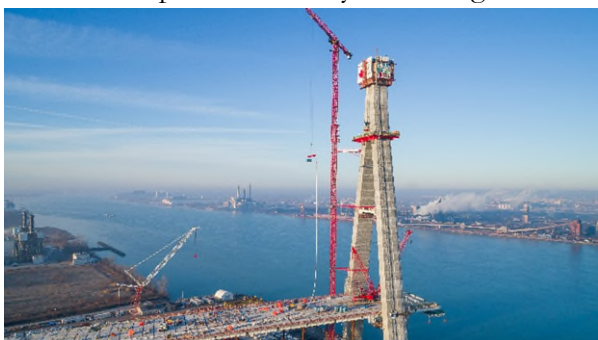


Figura 10. Elevación primer tirante. Febrero de 2023

El cordón de referencia se introduce por el hueco del pilono y se ancla en el anclaje superior asegurándolo con su cuña. En ese momento, los operarios en el tablero pueden acercar el otro extremo del conjunto vaina + cordón patrón al anclaje del tablero, donde el cordón se asegura con otra cuña de acero. Una vez que ambos extremos del cordón de referencia se han asegurado mediante cuñas, se tesa a la tensión fijada desde el anclaje activo situado en la torre. Este proceso se repite con el resto de los cordones y cada vez que se instala un cordón, éste recibe una primera carga de tesado. Cada cordón posterior al cordón patrón, directamente de la bobina, sin cortar, se izaba con un sistema de winches y cables fijos, ayudado por una guía deslizante que se enganchaba al extremo del cordón y lo subía hasta el anclaje superior. Una vez arriba, se introducía el cordón en el anclaje y se fijaba con la cuña. Entonces podía cortarse a la longitud adecuada e introducirlo en el anclaje inferior.

Cada cordón se tesaba a la carga objetivo mediante el equipo ConTen patentado por

Dywidag, que permite igualar las cargas de todos los cordones.

Debido al proceso constructivo, donde los cables se instalaban y se daba el primer tesado cuando aún no se había colocado la losa del tablero, y a la exigencia de que no hubiera en la fase de servicio tracciones en la losa, a medida que la construcción se fue acercando al centro de vano, la carga de instalación de los tirantes se fue reduciendo. Era necesario contar con una gran fuerza de tesado cuando ya estaba la losa colocada para asegurar que, en servicio, toda ella quedaba comprimida. Esto obligó a instalar en los tirantes más largos (en los que, además, los efectos no lineales de la catenaria eran verdaderamente relevantes) sólo parte de los cordones para que las cargas en ellos fueran suficientemente grandes como para no tener problemas de deslizamiento en las cuñas. El resto de cordones se instalaban coincidiendo con el primer retesado.

En los tirantes en los que la instalación se hacía en una sola fase, se tardó entre 3 y 6 días, en función del número de cordones.

Como cada dovela del tablero está sustentada por dos tirantes, la instalación de las vainas con el cordón patrón de cada tirante se hacía de forma secuencial, colocando la del tirante norte y a continuación la del sur. Sin embargo, la instalación y tesado del resto de cordones se hacía en paralelo para no desequilibrar el tablero.

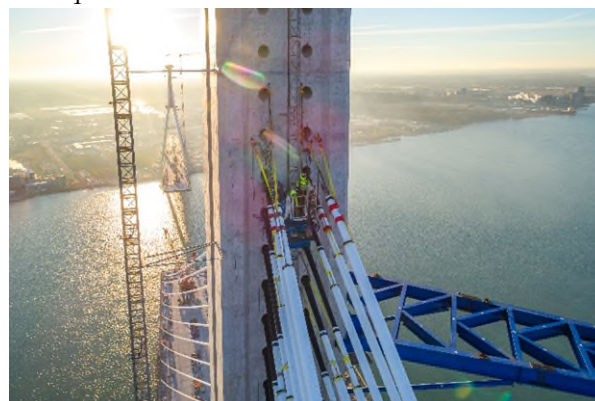


Figura 11. Instalación de tirantes en pilono

Durante el proceso de avance por voladizos, fue necesario ajustar las cargas de los tirantes, en un proceso que controlaba tanto la geometría del tablero como la fuerza en los tirantes. Antes del retesado de tirantes contemplado en el ciclo (ver [2] para más información sobre el proceso constructivo), se tomaba una topografía general y se hacía un pesaje con gato unifilar para ver las cargas en cada tirante. Con esta información, el diseñador indicaba la carga de retesado a aplicar. De esta forma, y debido a la gran flexibilidad del tablero, se fue controlando la geometría del puente y se aseguró que las cargas finales en cada tirante quedaban dentro de las tolerancias definidas en proyecto.

Especialmente relevante fue el retesado que contemplaba el proyecto tras la retirada de las pilas provisionales del vano trasero. Como los cables de retenida se habían tesado menos para asegurar la carga vertical en las pilas provisionales en eventos de viento, al retirar estas pilas provisionales hubo que hacer un retesado general donde las cargas aplicadas eran considerables. Esto provocó que en algunas fases de este retesado general los tirantes adyacentes al que se estaba retesando se quedaran con muy poca carga, por debajo incluso de los 30 kN que se había establecido como mínimo para evitar el deslizamiento de los cordones. Para evitar este problema, tuvo que instalarse, en muchos casos y de manera provisional, la placa de retención de cuñas que fija los cordones y evita su deslizamiento.

3.4. Acabados

Una vez terminada la instalación de todos los cordones, se procedía a las tareas de acabado del anclaje pasivo, situado en el tablero. En primer lugar se retacaban las cuñas para asegurar su correcto funcionamiento, se inyectaban los anclajes con *Unigel* para proteger la zona desnuda (sin la vaina individual de PEAD) de los

cordones que quedaba dentro del anclaje y se instalaba la placa de retención de cuñas, que restringe el movimiento de las mismas y evita el deslizamiento de los cordones. Finalmente se cortaban las sobre longitudes sobrantes de los cordones y se colocaban las caperuzas.

A continuación, y una vez hechos todos los retesados, se colocaban las abrazaderas de compactación del haz de cordones con la ayuda de un compactador hidráulico. De esta forma, se compactan los cordones y se puede instalar el anillo elastomérico que transmite las vibraciones del tirante a los amortiguadores. Finalmente, se instalaba la protección contra incendios y se colocaban los tubos de protección contra atentados. La instalación de los amortiguadores se produjo meses más tarde, cuando se recibieron.

En el anclaje activo, todas estas tareas de acabados se realizaron al finalizar todos los retesados.

4. Control de vibraciones durante la construcción

Con cables tan largos (450 m) fue necesario instalar un sistema provisional para evitar las vibraciones durante la construcción, pues los amortiguadores no se colocaban hasta el final de la obra. Para ello se recurrió a una de las alternativas recogidas en el boletín 30 de la fib, que consiste en atar los tirantes con unos cables transversales para evitar la vibración.

Se usaron eslingas de nylon para no dañar la vaina de PEAD, conectadas a cables de acero mediante grilletes. La fijación al tablero también fue mediante grilletes.

Cada cable transversal, situado a un máximo de 20 m sobre el tablero para facilitar su retirada, formaba un ángulo próximo a 90° para evitar el deslizamiento y la pérdida de tensión. Cuando se procedía al retesado del tirante, los

cables se aflojaban para no afectar en la catenaria ni a la tensión introducida.



Figura 12. Cables transversales temporales

Agradecimientos

Los autores de este artículo quieren agradecer a todo el equipo de obra el gran trabajo realizado, que permitió culminar con éxito la instalación de los tirantes bajo la modalidad de *self performing*, especialmente a Juan Francisco Caja Molano, pieza cable en la colocación y tesado de tirantes.

Referencias

- [1] E. Tria, C. Lucas, A. Ríos, A. Vázquez, *Gordie Howe International Bridge Project*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Civil (ACHE), Granada 2025.
- [2] A. Vázquez, C. Lucas, A. Ríos, C. López, *Construcción del tramo atirantado. Puente Internacional Gordie Howe*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Civil (ACHE), Granada 2025.
- [3] A. Vázquez, C. Lucas, J.A. Navarro, J. Milián, A. Martínez, *Construcción de los vanos de retenida. Puente Internacional Gordie Howe*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Civil (ACHE), Granada 2025.
- [4] A. Vázquez, C. Lucas, A. Ríos, C. López, *Cierre del vano central. Puente Internacional Gordie Howe*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Civil (ACHE), Granada 2025.
- [5] O. Narodetsky, E. Tria, C. Lucas, A. Ríos, A. Vázquez, *Gordie Howe International Bridge. Approach viaducts*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Civil (ACHE), Granada 2025.
- [6] B. Chung, A. Martínez, H. Corres, J.A. Navarro, A. Leocadio, *Gordie Howe International Bridge: Project overview and design features*, IABSE Symposium Long Span Bridges, Istanbul, April 2023.
- [7] B. Chung, A. Martínez, A. Pérez, J.A. Navarro, J. Milián, S. Rodríguez, A.L. Gutiérrez, *Gordie Howe International Bridge – Design of main cable-stayed section*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Civil (ACHE), Granada 2025.
- [8] B. Chung, A. Martínez, A. Pérez, J.A. Navarro, J. Milián, B. Regúlez, H. Corres, A.L. Gutiérrez, *Gordie Howe International Bridge – Main bridge deck design*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Civil (ACHE), Granada 2025.
- [9] B. Chung, K. McLemore, A. Martínez, P. Schafer, A. Pérez, J.A. Navarro, J. Milián, S. Rodríguez, *Gordie Howe International Bridge – Design and erection engineering of towers, piers and foundations*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Civil (ACHE), Granada 2025.
- [10] B. Chung, A. Martínez, A. Pérez, J.A. Navarro, J. Milián, S. Rodríguez, A. Hermoso, A. Muñoz, G. Marinas, A.L. Gutiérrez, *Gordie Howe International Bridge – Deck erection engineering design and control*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Civil (ACHE), Granada 2025.
- [11] B. Chung, A. Martínez, J.A. Navarro, H. Corres, B. Regúlez, *Gordie Howe International Bridge Project – Overview and design features*, IBC, Pittsburg 2022.