

Puente Internacional Gordie Howe – Ingeniería de construcción de la superestructura: proyecto y control

Gordie Howe International Bridge– Superstructure Erection: design and control

Barry Chung^a, Antonio Martínez Cutillas^b, Juan Antonio Navarro González-Valerio^c
Alejandro Pérez Caldentey^d, Javier Milián Mateos^e, Santiago Rodríguez Lorente^f, Andrés
Hermoso Meijide^g, Antonio Leocadio Gutiérrez Llorena^h, Alberto Muñoz Tarilonteⁱ,
Gonzalo Marinas Sanz^j

^a PhD, PE, SE. AECOM. Complex Bridges Practice Lead. barry.chung@aecom.com

^b Doctor Ingeniero de Caminos. Carlos Fernández Casado, S.L. Director. amartinez@cfcsl.com

^c Ingeniero de Caminos, PE. CFC-USA Corp. Lead Bridge Engineer. janavarro@cfcsl.com

^d Doctor Ingeniero de Caminos, PE, PEng. FHECOR North America. Director. apc@fhcor.es

^e Ingeniero de Caminos. FHECOR Ingenieros Consultores. Jefe de Proyecto. jmm@fhcor.es

^f Ingeniero de Estructuras. Carlos Fernández Casado S.L. Ingeniero de Proyecto. srodriguez@cfcsl.com

^g Ingeniero de Caminos, Carlos Fernández Casado SL. Ingeniero de proyecto. ahermoso@cfcsl.com

^h Ingeniero de Caminos. FHECOR Ingenieros Consultores. Ingeniero de Proyecto. algl@fhcor.es

ⁱ Ingeniero de Caminos, Carlos Fernández Casado SL. Ingeniero de proyecto. amt@cfcsl.com

^j Ingeniero de Caminos, Carlos Fernández Casado SL. Ingeniero de proyecto. gmarinas@cfcsl.com

RESUMEN

El Puente Internacional Gordie Howe es el puente atirantado de mayor vano de Norteamérica y el tablero mixto de mayor vano del mundo. El proyecto de construcción inicialmente se diseñó para un avance de voladizos simétrico, cambiando a posteriori para hacer el vano de retenida con antelación, apeado en torres. El tablero se iza por construcción stick-built. El control geométrico y ajuste de fuerzas en tirantes según avanzaba la obra ha representado un desafío de control y ajuste de los modelos para llegar a la geometría de referencia dentro de las tolerancias requeridas, sin interferir en ningún momento en el normal desarrollo de la obra.

ABSTRACT

The Gordie Howe International Bridge is the largest cable-stayed bridge in North America and the largest composite deck in the world. The erection sequence was initially designed for a symmetrical advance of cantilevers, changing afterwards to the side spans in advance on temporary piers. The deck is stick-built erection. The geometric control and adjustment of cable stays forces as the work progressed has represented a challenge of control and adjustment of the models to reach the reference geometry within the required tolerances, not interfering with the erection development at any time.

PALABRAS CLAVE: puente atirantado, mixto, stick built, efectos no lineales, control geométrico

KEYWORDS: cable-stayed bridge, composite, stick built, non-linear effects, geometrical control

1. Descripción general del proyecto

El puente International 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, ya previstos para 8 carriles en el futuro. 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 que conectan 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 vano de sección mixta mayor del mundo.

La propiedad del puente pertenece a la Windsor-Detroit Bridge Authority (WDBA) que, mediante una colaboración público-privada, adjudicó el contrato de concesión al consorcio Bridging North America General Partnership (BNA), formada por ACS Infrastructure, Fluor y Aecon, para diseñar, construir, financiar y operar toda la infraestructura que incluye, además del puente, los dos aduanas (POE, Port of Entry), una en Canadá y otra en Estados Unidos, y un enlace con la autopista I-75. La inversión total ha sido de unos 5 500 millones de dólares. La construcción ha corrido a cargo de la UTE formada por Dragados, Fluor y Aecon y el equipo de diseño estuvo liderado por Aecom, con apoyo de la UTE Carlos Fernández Casado – Fhecor para el "erection engineering" y el diseño de determinadas partes del puente.

El puente lleva el nombre del carismático jugador de hockey hielo canadiense, nacido en Windsor, que jugó en el equipo de la ciudad de Detroit toda su vida.

2 Proyecto de la secuencia constructiva

Se pueden encontrar en [1], [2], [3] y [4] una descripción más detallada del puente.

Todo el diseño de la secuencia constructiva diseñada ha venido condicionado por los dos siguientes factores, decididos en la fase de oferta y mantenidos en las primeras fases del proyecto detallado:

1. Stick-built para el tablero constructivo, evitando en cualquier caso los medios marítimos y el movimiento de cargas pesadas.
2. Avance en voladizo simétrico hasta la llegada a la primera pila del vano de retenida, que configuraba un voladizo simétrico impresionante, de 2x250 m de longitud.

Como consecuencia de lo segundo, la armadura de la torre era dimensionada claramente por el proceso constructivo, ya que los esfuerzos en servicio en las torres no son excepcionalmente grandes, comparados con otras regiones [5].

Como dato preliminar, la armadura de la losa del tablero requerida en servicio es extremadamente baja para un puente de esta magnitud, $\phi 16/0.15$ [6]. Esto limita sobremanera las tracciones máximas en cualquier fase del proceso constructivo, condicionándolo de manera significativa. En cualquier caso, como se detallará a continuación, a base de mucho cálculo, mucha prueba y error, se consiguió diseñar un proceso que no requiriese aumentar esta armadura, sin penalizar la duración del proceso ni las operaciones requeridas por la constructora. Únicamente, como se explicará a continuación, se requirió dividir algunas operaciones de tesado en más veces, para limitar en la losa tanto las tracciones en proceso como para maximizar las compresiones en carga permanente.

Una vez ya avanzado el diseño de las torres y del puente en general, la constructora

decidió cambiar por razones de plazo de un proceso con voladizos simétricos a un proceso de izado del vano de retenida sobre torres de apeo temporales (ver [7]) con antelación al vano principal en voladizo. En este escenario, tal y como está detallado en [7], hay que dejar carga en las torres de apeo provisionales para evitar tracciones en las mismas. Esto conlleva 2 consecuencias:

- La torre va acumulando momentos a medida que se van ejecutando fases. Todo el peso del vano principal va a la torre, mientras que sólo parte del peso del vano de retenida va a la misma. Por eso, la torre se va “inclinando” hacia el vano principal. Esto es sólo posible, precisamente, por la gran armadura que se había incluido previamente en la torre, al considerar el proceso de voladizos simétricos.
- Cuando se quitan las torres de apeo, la carga de los tirantes es más baja de lo debido, y se requiere de un retesado completo de todos los tirantes instalados hasta ese momento. Como se detalla en [7], la estructura hiperestática y las bajas tracciones admisibles en la losa requieren que este retesado se realice en varias fases, de manera que algunos tirantes han llegado a tener hasta 1 fase de instalación y 3 retesados en total del proceso.

Esta decisión tuvo 2 etapas:

1. **Secuencia constructiva 1:** se decidió montar la estructura metálica sobre las torres de apeo, pero ejecutar la losa de hormigón del vano de retenida a la vez que el voladizo del puente principal, intentando minimizar las máximas compresiones axiales en las torres provisionales.
2. **Secuencia constructiva 2:** Sin embargo, las máximas compresiones no diferían mucho, ya que había que montar primero el hormigón y luego tesar, de manera que las

compresiones del tesado entrasen sobre sección mixta. Además, se consideró mucho más rápido instalar todas las losas de hormigón del vano de retenida con antelación, sacando del ciclo crítico tanto el hormigonado como el tesado de los tirantes del vano de retenida. Este se hacía a la vez que el voladizo del vano principal, pero fuera del ciclo crítico, cuando a la constructora le convenía.

Esta decisión fue muy acertada; además del plazo, permitió reducir mucho los momentos acumulados en la torre, tal y como se puede en las siguientes figuras. Como hemos explicado, el momento se va acumulando al tener que dejar parte del peso del vano de retenida en las torres de apeo. Sin embargo, al tener la losa ya hormigonada, en la secuencia constructiva 2 se adelantaron hasta 3 tirantes del vano de retenida, de manera que se podía “usar” más peso del vano de retenida y compensar este hecho. Gracias a la gran cantidad de armadura, la secuencia constructiva 1 era factible. Sin embargo, la fisuración, al tener todavía poca carga axial, era excesiva. Con la secuencia constructiva 2 la fisuración de la torre desapareció, y el ratio D/C bajó mucho, aumentando la seguridad de la construcción.

Estos momentos en la torre disminuyen drásticamente cuando se quitan las torres de apeo y se retesan los tirantes. Esto se hizo cuando el puente principal alcanzó la dovela 23 de 27.

La gran ventaja es que se aprovechó que se tenían que retesar prácticamente todos los tirantes para ajustar esas cargas y ajustar la geometría del puente. Una vez acabado el retesado general, se consiguió que el puente estuviese exactamente donde tenía que estar con gran precisión, dentro de las tolerancias previamente establecidas.

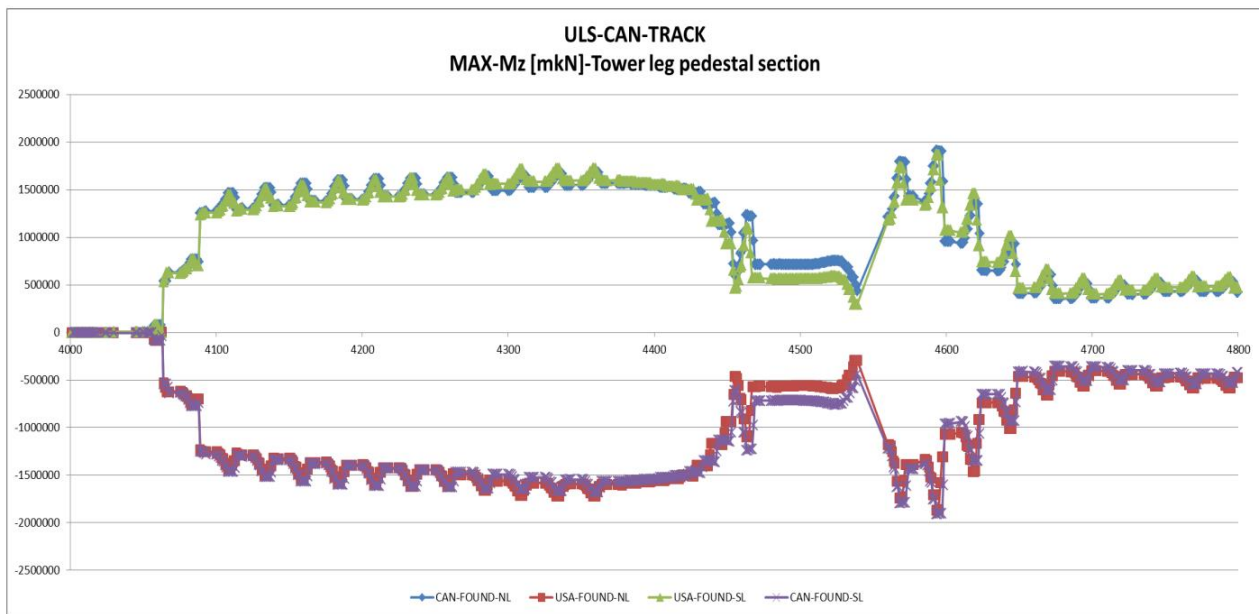


Figura 1. Evolución del momento flector de eje transversal al puente en la base de la torre a lo largo de la secuencia constructiva 1

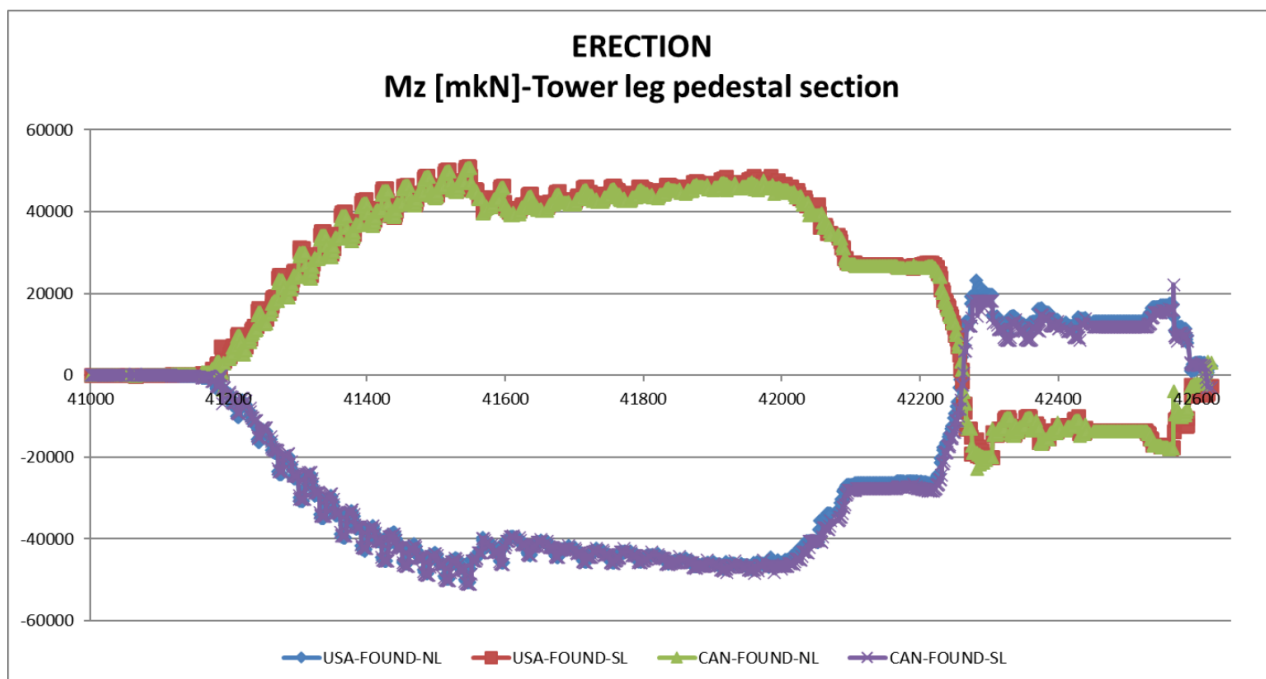


Figura 2. Evolución del momento flector de eje transversal al puente en la base de la torre a lo largo de la secuencia constructiva 2

Respecto la ejecución del vano principal, aunque está detallado en [8], algunos aspectos relevantes fueron:

- Para aumentar las compresiones en la losa, interesaba maximizar el segundo tesado, una vez instaladas las losa prefabricadas y hormigonadas las juntas. Por eso, en todos los tirantes se instalaban todos los cordones,
- pero a una carga unitarias por cordón baja. Esto implicó controlar muy bien el módulo efectivo de los tirantes, ya que el módulo de Ernst efectivo llegaba a bajar hasta $0.50 \cdot E$.
- En los tirantes más largos, hubo que dividir la instalación de cordones en 2 fases, ya que si no las cargas por cordón tenían que ser incluso más bajas de 30 kN/cordón, con

grandísimo efecto no lineal. Esta operación perjudicó un poco el ciclo, pero sólo hubo que hacerlo en las últimas dovelas, de la 23 a la 27.

- El único elemento del puente que ha requerido un ajuste no esperado ha sido el posicionamiento de las vigas longitudinales de redundancia. En un momento dado, por temas de montaje acumulado, las vigas de redundancia eran más “largas” que las de borde. Esto requirió añadir compresión antes de apretar los tornillos de dichas vigas y usar chapas de solape especiales, sin que hubiese mayores consecuencias.

El cierre se ejecutó de acuerdo a [9] y fue un éxito; se realizó de forma rápida y exactamente de acuerdo a lo esperado. Después del cierre estaba previsto desde el principio el retesado del cable 26 y 27 del vano principal, para alcanzar la ley de momentos flectores deseada. Aparte de esto, no hubo que ajustar casi ningún tirante adicional, sólo alguno para ajustar su carga final.

La geometría final obtenida ha sido un éxito, tanto en posición vertical como en situación longitudinal para los apoyos; con un proceso constructivo que ha funcionado como un reloj, cumpliendo todos los plazos previstos. Considerando la magnitud del puente, se considera un gran éxito.

3. Cálculo no lineal del proceso constructivo

Debido al proceso de revisión, hubo que justificar la metodología seguida durante el cálculo del proceso constructivo.

Las posibilidades para el cálculo lineal / no lineal están incluidas en la figura siguiente.

Num modelo	Linealidad	Geometría	Stays		¿Adecuado?	Comentarios
			Modelo	Técnica		
0	Lineal	Lineal	Lineal	Articulada lineal	No	Pobres resultados para GHIB
1	Parcialmente no lineal	Lineal	No lineal	Articulada no lineal + módulo de Ernst secante	Yes	
X				Elementos cable no lineales	No	No factible
2	No lineal completo	No lineal	No lineal	Articulada no lineal + módulo de Ernst secante	Yes	Ambos modelos equivalentes para GHIB
3				Elementos cable no lineales	Yes	

Figura 3. Comparativa de opciones lineales y no lineales para el cálculo del proceso constructivo

En nuestro caso se calcularon los 4 modelos, desde 0) lineal, 1) parcialmente no lineal, 2) no lineal con barras articuladas para los tirantes y 3) no lineal completo incluyendo elementos tipo cable para los tirantes (en vez de barra articuladas) y geometría no lineal. Las conclusiones fueron:

- El modelo 0 lineal no es adecuado para un puente atirantado como el Gordie Howe. Al menos, hay que tener en cuenta el efecto de reducción de la rigidez en los tirantes, a través del módulo de Ernst o equivalente.
- Como era de esperar, el modelo 1 y 3 dieron el mismo resultado. En la figura siguiente está la flecha vertical en la punta de la dovela, a lo largo del ciclo de la dovela 24. Se observa que el modelo no lineal geométrico baja más cuando hay carga no compensada por los tirantes (dovela metálica primero, losas de hormigón después). Pero cuando se tesan los tirantes en primera o segunda fase desaparecen prácticamente los momentos flectores y el tablero se acerca mucho a la configuración de referencia (la incluida en el modelo lineal geométrico, el 1)). En ese escenario, la flecha es la misma. También se incluye una figura con las fuerzas en tirantes a lo largo del proceso en la pareja 20 del vano principal con los modelos 1, 2 y 3, comprobando de nuevo que las fuerzas finales son las mismas aunque en fases intermedias tengan cierta diferencia. En conclusión, **durante las fases intermedias del ciclo constructivo puede haber una pequeña diferencia entre el modelo lineal 1) y no lineal geométrico con**

elementos tipo cable 3), pero en el acumulado no la hay.

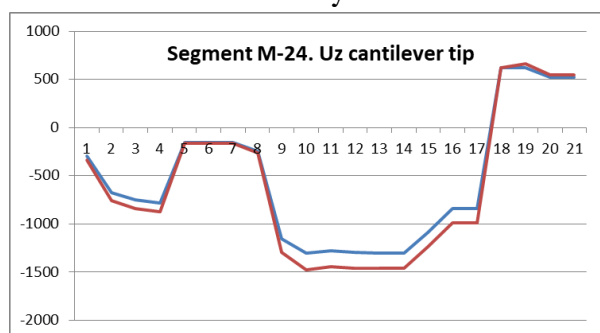


Figura 4. Flecha vertical en la punta de la dovela M24 a lo largo de un ciclo completo (azul lineal geométrico, rojo no lineal geométrico)

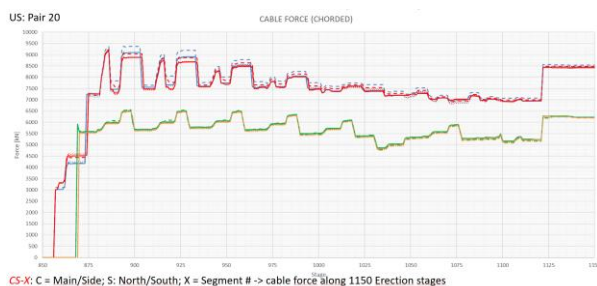


Figura 5. Fuerza en la pareja de cables 24, lado USA, a lo largo del proceso, para los modelos 1, 2 y 3

En consecuencia, todo el cálculo del puente se ha realizado con un modelo lineal geométrico + no lineal iterativo en los cables con el módulo de Ernst, junto con la no-linealidad por la fluencia y retracción; esta hace que las fases de proceso no se puedan multiplicar por coeficientes directamente, sino que requiera recalcular el proceso completo.

4. Control geométrico durante la construcción

El control geométrico del proceso constructivo ya descrito fue un trabajo de gran intensidad, dado el tamaño del puente y la cantidad de variables a estudiar.

Se detallan a continuación los aspectos más relevantes: el control estándar de las dovelas del vano principal, el ajuste del modelo de cálculo según las deformaciones que se medían en obra, los cambios en la secuencia constructiva en el día a día de la obra y los efectos de la temperatura en la estructura.

4.1 Control del ciclo tipo en dovelas del vano central

A diferencia de puentes con dovelas soldadas, la parte metálica de las dovelas en este tipo de diseño no conlleva ninguna decisión de control de posicionamiento, puesto que se atornillan las vigas longitudinales al segmento anterior acorde a la definición de los cortes y agujeros de cada viga y el montaje en blanco realizado en taller.

Como la colocación de las losas prefabricadas y el hormigonado de las juntas no implican tampoco decisión alguna, para cada uno de los 27 ciclos de dovelas del vano central, el control geométrico exhaustivo se limitó a un levantamiento topográfico por ciclo (a primera hora de la madrugada), antes del retesado de los tirantes del vano principal, con el objetivo de ajustar sus cargas (de ser necesario).

Concretamente, en cada etapa de análisis de la geometría, las actividades que se realizaban en obra eran las siguientes:

- Lectura de coordenadas de todas las dovelas ejecutadas, teniendo los prismas en la cara inferior del frente de las dos vigas longitudinales principales.
- Lectura de coordenadas de los alzados de las torres, en prismas separados 15 m aproximadamente.
- Toma de datos de cargas de tirantes más afectados por las operaciones realizadas previamente (generalmente, las tres parejas de tirantes más cercanos al frente de avance y sus homólogos del vano lateral).
- Recogida de datos ambientales y situación de sobrecargas en el tablero en el momento de lectura de coordenadas

Con la información recopilada, el minucioso análisis de la geometría completa del puente seguía la siguiente secuencia:

- Se calculaba el efecto de las sobrecargas en el tablero diferentes de las incluidas en el modelo y de la temperatura ambiental, recopilándose las

deformaciones de la estructura y las cargas de los tirantes resultantes.

- Por la parte de la geometría del tablero y de las torres, se añadían las deformaciones anteriormente calculadas a las coordenadas recibidas de campo, y se extrapolaba la geometría a la fecha de apertura del puente añadiendo los movimientos de las fases subsiguientes (teniendo en cuenta los efectos de las grandes deformaciones que se producían en determinadas etapas del proceso constructivo -algunas fases finales de tesado de tirantes o de peso de losas llegaba a deformar la punta del voladizo más de 1 metro-).
- Por la parte de los tirantes, se corregía la carga medida en obra con los efectos calculados de sobrecargas y temperatura, y se extrapolaba también a la fecha de

apertura del puente, para evaluar la desviación de la carga.

- Con toda la información recopilada, se estudiaban los efectos de modificar ligeramente los tesados de algunos tirantes, con el objetivo de balancear las desviaciones que se hubiesen producido en obra respecto al modelo teórico.
- Redactado el informe oportuno, se compartía la información con la obra y se continuaba la ejecución.

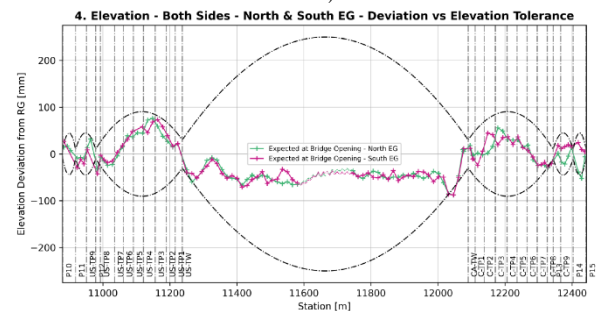


Figura 6. Resultado de la desviación en elevación de las vigas longitudinales a la apertura del puente tras la ejecución de la dovela 22 del centro de vano.



Figura 7. Fase de instalación del tirante del vano central.

4.2 Ajuste del modelo

El elevado número de incertidumbres que se manejan en el análisis de puentes impide, en general, que se pueda determinar su deformación de manera exacta con modelos de cálculo apriorísticos.

En ese contexto, el tamaño del puente y el requerimiento de mantener la geometría dentro de tolerancia obligaba a hacer una calibración del modelo de cálculo.

Para ello, hasta el desapeo de las torres temporales, se estuvo realizando un análisis detallado de todos los datos disponibles de deformaciones reales y pesos, para conseguir ajustar los resultados del modelo al comportamiento real que se estaba observando en la estructura.

Así, se realizaron numerosos cálculos iterativos, que permitieron obtener unos parámetros de modificación de pesos y rigideces tales que se capturaba mejor con el modelo de cálculo la respuesta del puente. En consecuencia, tras la retirada de las torres de apeo y el subsiguiente retesado general (antes de continuar con la dovela 24), la geometría real del puente vano principal divergía muy poco de la teórica, como se ha explicado anteriormente.

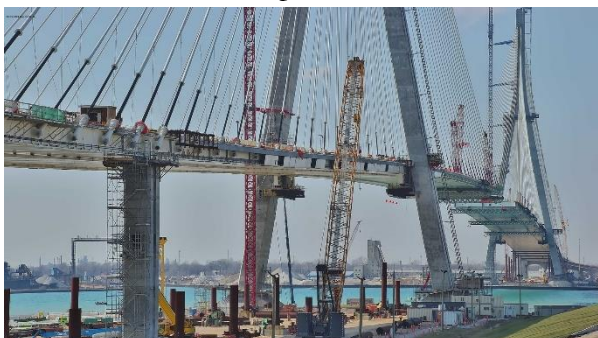


Figura 8. Estado del puente tras la retirada de las torres de apeo.

4.3 Cambios en la secuencia constructiva

Dada la complejidad de la construcción de una obra de estas dimensiones, para adaptarse a las

siempre cambiantes circunstancias de producción, desde obra se solicitaban modificaciones constantes de la secuencia constructiva para optimizar los recursos disponibles.

Todas las solicitudes de cambio de ciclo eran evaluadas a nivel estructural y, las que eran técnicamente factibles, fueron documentadas con los correspondientes ajustes de cargas de tesado para conseguir llegar al mismo estado final del puente que se había proyectado.

Algunos de los cambios que se efectuaron fueron:

- Retrasos en la ejecución de partes de las barreras.
- Hormigonados de voladizos de la sección transversal no acordes a la secuencia estricta.
- Ligeros adelantamientos o retrasos de tesados parciales de los tirantes del vano lateral.

En cualquier caso, antes de la fase de cierre en centro de vano, muchas de las actividades que iban con retraso se aceleraron para estar acabadas antes del cierre; y las que no, fueron reemplazadas por lastre equivalente con el objetivo de que no hubiese repercusiones estructurales derivadas del cambio estructural que implicaba el cierre del tablero en centro de vano.

4.4 Efectos de la temperatura en la geometría

Como es habitual en este tipo de puentes, todos los controles topográficos se realizaban al amanecer, para evitar las distorsiones que pueden generar los gradientes de temperatura. De esta manera, la única componente térmica relevante es la diferencia de la temperatura ambiental con la temperatura de referencia de diseño del puente, que normalmente provoca una deformada homotética con un efecto bastante pequeño en el voladizo [10].

Sin embargo, en algunas pequeñas ventanas temporales que hubo disponibles con los trabajos en el tablero detenidos, se analizó el efecto en la deformación del puente del cambio de temperatura entre pares de días al amanecer, obteniéndose la figura 9.

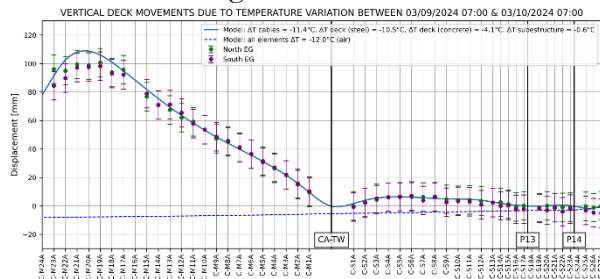


Figura 9. Desplazamientos en el tablero del lado canadiense (centro de vano en el lado izquierdo del gráfico) entre dos días al amanecer.

En ese gráfico se observan los desplazamientos medidos en campo (puntos morados y verdes), que no se corresponden con la deformada esperada de una variación uniforme de temperatura igual a la diferencia de temperatura entre ambos días (línea azul oscura discontinua). Esta variación uniforme de temperatura (de -12°C) debería generar una deformada de 7 mm en punta (hacia abajo), y en realidad se midieron de 100 mm hacia arriba en el área de la dovela 20.

Lo que realmente se produce es una diferencia de temperatura entre los elementos del puente, debido a la distinta inercia térmica de cada uno de ellos. Así, mediante el análisis de todos los datos disponibles de temperatura ambiente y deformaciones del puente en periodos donde los trabajos en el tablero estaban detenidos, se obtuvieron unas leyes de variación de temperatura para cada elemento del puente (figura 10) de las que se obtenía un incremento térmico para sendos elementos, de tal forma que la deformación generada se ajustase a los datos observados (línea continua azul en la figura 9).

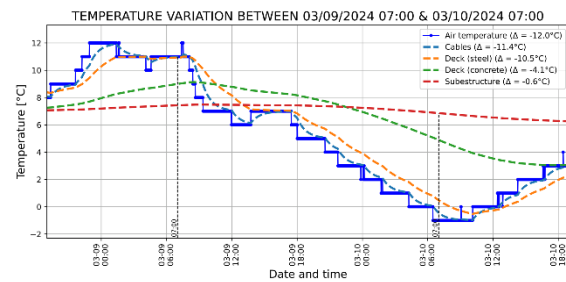


Figura 10. Leyes de variación de temperatura en los elementos: azul oscuro – temperatura ambiente, azul claro – temperatura de cables, naranja – temperatura de las vigas metálicas del tablero, verde – temperatura de la losa de hormigón y rojo – temperatura de la torre.

Aunque este enfoque permitió obtener mejores resultados durante el control geométrico (donde no solamente es relevante ese desplazamiento vertical del tablero, sino también el ángulo de salida del voladizo), el ajuste realizado estaba sobre optimizado y no predecía bien el comportamiento del tablero en determinados escenarios de variación térmica. Para futuras ocasiones, en puentes de esta magnitud sería recomendable investigaciones más profundas relativas a este fenómeno, combinadas con una instrumentación adecuada de la temperatura de los elementos más importantes del puente para calibrar el modelo con la realidad medida.

Referencias

- [1] B. Chung, A. Martínez, J.A. Navarro, H. Corres, B. Regúlez, *Proyecto del Puente Internacional Gordie Howe – Descripción general y características de diseño*, IBC, Pittsburg 2022.
- [2] B. Chung, A. Martínez, H. Corres, J.A. Navarro, A. Leocadio, *Proyecto Puente Internacional Gordie Howe Descripción general y características de diseño*, Simposio IABSE Puentes de Gran Envergadura, Estambul, abril de 2023.
- [3] B. Chung, A. Martínez, A. Pérez, J.A. Navarro, J. Milián, S. Rodríguez, A.L. Gutiérrez, *Puente Internacional Gordie Howe - Proyecto del puente principal atirantado*, IX Congreso de la Asociación Española de

Ingeniería Estructural (ACHE), Granada 2025.

- [4] A. Vázquez, C. Lucas, C. López, A. Ríos, L. Zangos, *Construcción del tramo atirantado (torres y tablero). Puente Internacional Gordie Howe*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE), Granada 2025.
- [5] B. Chung, K. McLemore, P. Schafer, A. Martínez, A. Pérez, J.A. Navarro, S. Rodríguez, J. Milián, *Puente Internacional Gordie Howe - Torres, pilas y cimentaciones: proyecto e ingeniería de construcción*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE), Granada 2025.
- [6] B. Chung, A. Pérez, H. Corres, A. Martínez, J. Milián, B. Regúlez, J.A. Navarro, A.L. Gutiérrez, *Puente Internacional Gordie Howe - Proyecto del tablero del puente principal*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE), Granada 2025.
- [7] A. Vázquez, C. Lucas, J.A. Navarro, J. Milián, *Vanos de retenida del puente atirantado. Puente Internacional Gordie Howe*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE), Granada 2025.
- [8] A. Vázquez, C. Lucas, C. López, A. Ríos, L. Zangos, *Construcción del tramo atirantado (torres y tablero). Puente Internacional Gordie Howe*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE), Granada 2025.
- [9] A. Vázquez, C. Lucas, A. Ríos, C. López, *Cierre del vano central. Puente Internacional Gordie Howe*, IX Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE), Granada 2025.
- [10] 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.