

Metodología de Seguimiento y Supervisión de la ejecución de la estructura metálica en taller del Nuevo Puente de Champlain en Montreal, Canadá

Tracking and Monitoring Methodology of steel production at workshop for the New Champlain bridge in Montreal, Canada

Miguel Ortega Cornejo^a, Pedro Atanasio Utrilla^b y Guillem Collell Mundet^c

^a Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de Ingeniería. IDEAM, S.A.

^b Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de proyectos. IDEAM, S.A.

^c Master Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

RESUMEN

El nuevo puente Samuel de Champlain es una de las obras de ingeniería de mayor importancia en Norte América. Su diseño y ejecución ha contado con el principal desafío de proyectar una estructura con una vida útil de 125 años en un plazo de ejecución muy ajustado. Para alcanzarlo, ha sido necesario un elevado grado de prefabricación y un alto nivel de exigencia. IDEAM ha participado durante su ejecución asistiendo al equipo de diseño en la coordinación técnica y el aseguramiento de la calidad en los talleres metálicos ubicados en España. Para ello se ha dispuesto una plataforma digital mediante dispositivos móviles para la recolección, supervisión y seguimiento de las incidencias durante la construcción.

ABSTRACT

The new Samuel de Champlain Bridge is one of the most important engineering works in North America. The main challenge of its design and construction has been to achieve a 125-year design life in a very tight schedule. To achieve this, it has been necessary to carry out a high degree of prefabrication and a high level of requirements. IDEAM has participated during its fabrication, advising design team in technical coordination and quality assurance at steel workshops in Spain. To this end, a digital platform was set up for data collection, supervision and issues monitoring during construction by mobile devices means.

PALABRAS CLAVE: puente, atirantado, metálico, calidad, soldaduras, fatiga, aplicación móvil

KEYWORDS: bridge, cable-stayed, steel, QA, quality, welding, fatigue, mobile application

1. Introducción

El Nuevo Puente de Samuel de Champlain representa una de las obras de mayor envergadura de Norte América, debido no solo a su importancia y dimensión sino también en parte a los retos técnicos cuyo diseño y construcción ha tenido que hacer frente.

Estos grandes retos han sido principalmente el realizar un diseño con una vida útil de 125 años y conseguir ejecutar la obra en un plazo 48 meses manteniendo el tráfico por el puente y los enlaces originales.



Figura 1. Vista general del puente.

Para cumplir con estos condicionantes ha sido necesario planificar y llevar a cabo un proceso constructivo buscando alcanzar los estrictos estándares normativos en un tiempo récord, labor para la que ha sido necesario una estrecha coordinación y cooperación de los equipos implicados, aspecto que ha sido determinante dada la deslocalización de los mismos y los plazos mencionados.

Para alcanzar estos plazos se decidió prefabricar la mayor parte de los trabajos, tanto de hormigón como metálicos. Gran parte de estos trabajos de estructura metálica se han llevado a cabo en distintas localizaciones de España.

2. Descripción general de la estructura

El nuevo puente de Champlain se ubica al oeste de la isla de Montreal, Canadá. Su estructura, de 3,4 km de longitud, resulta necesaria para superar el río San Lorenzo y servir de paso a una de las principales rutas de intercambio entre Estados Unidos y Canadá (Figura 1).

El viaducto consta de tres tramos diferenciados. El tramo central atirantado tiene una longitud de unos 530m, contando con un vano principal de 240m de luz y un vano de retenida de 124m.

Los tramos laterales estarían formados por un tablero continuo con luces alrededor de los 80 m en el acceso oeste y 84 m en el acceso este (Figura 2).

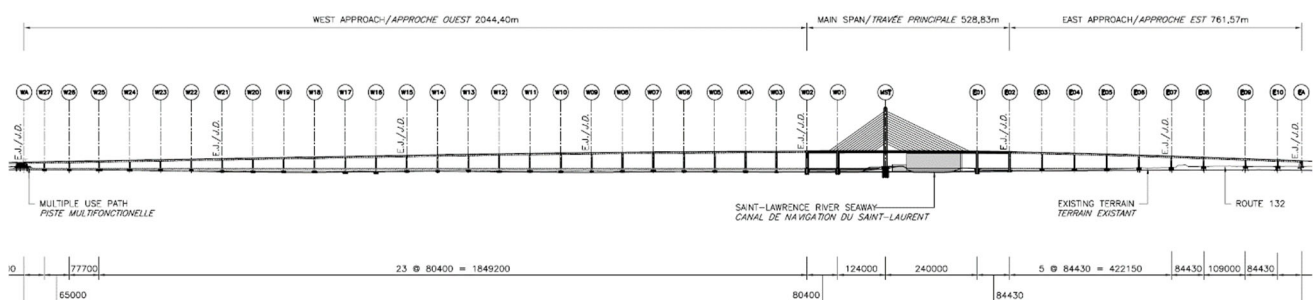


Figura 2. Alzado general del puente.

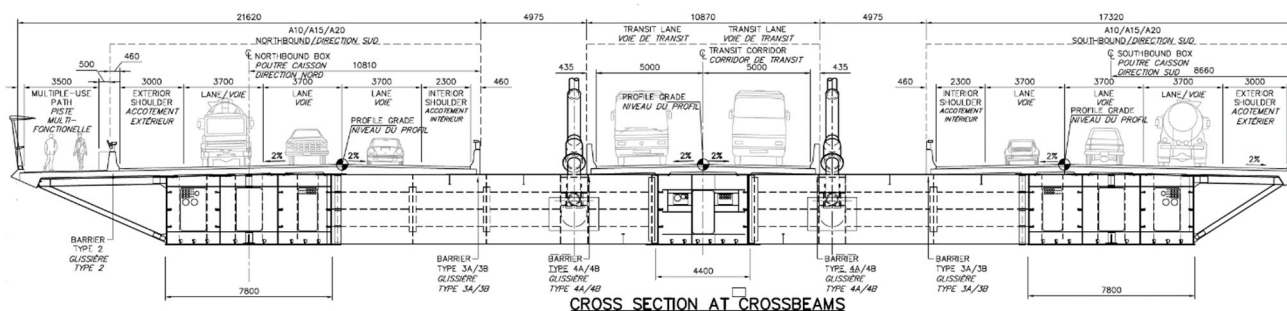


Figura 3. Sección transversal, tramo atirantado.

La sección transversal del tablero está compuesta por tres plataformas separadas, el lado norte (Northbound), el corredor central y el lado sur (Southbound), con una anchura total de 21,62+10,87+17,32m respectivamente. Cada plataforma está formada por un cajón metálico sobre el que se apoya una losa superior de hormigón prefabricado (Figura 3).

En el tramo atirantado, los tres cajones longitudinales están conectados entre sí por unas vigas transversales (Crossbeams) en las que se anclan los tirantes. Estas vigas están formadas por una sección de cajón metálico.

Con carácter general, las diferentes secciones del tablero se han dividido en segmentos, para ser transportados y montados en obra. En el tramo atirantado estos segmentos tenían una longitud máxima alrededor de los 25m. Estos elementos salían soldados de taller para posteriormente unirse entre si mediante uniones atornilladas pretensadas.

El pilono y las pilas son principalmente de hormigón pretensado. Las pilas, además, constan de una parte superior metálica, formado por dos triángulos invertidos conectados entre sí en la sección central superior (Figura 4). Esta parte metálica se conecta a en su sección inferior a los fustes de hormigón de las pilas.

Conviene destacar que las principales características que se han incorporado para alcanzar la vida útil de 125 años han sido:

- Empleo de acero inoxidable en las localizaciones más expuestas a las sales de deshielo.

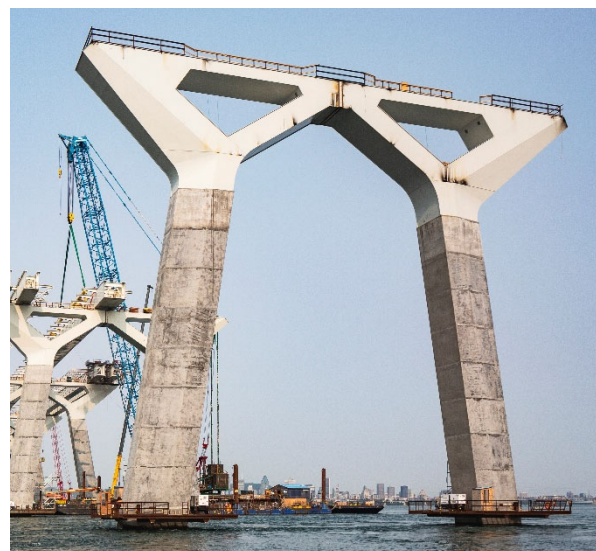


Figura 4. Alzado del dintel metálico de pila.

- Empleo de hormigones de altas prestaciones más resistentes a la penetración de sales, a los ciclos de hielo deshielo y a la abrasión.
- Uso de un sistema de drenaje de alta capacidad por el interior del tablero y las pilas
- Empleo de un sistema de protección de tres capas de pintura en las estructuras metálicas.

En relación con su fabricación, con excepción de los estribos y el pilono que fueron ejecutados in situ principalmente, el resto de elementos fueron en su mayoría prefabricados.

Los elementos de hormigón pertenecientes a las cimentaciones y fustes de pilas, y prelosa superior fueron prefabricados en obra y en talleres locales. De manera similar, los cajones metálicos de los tableros de los vanos laterales de acompañamiento se ejecutaron en talleres metálicos ubicados en Canadá.

Por otro lado, el tablero del tramo atirantado y los dinteles de pila se ha llevado a cabo íntegramente en España, transportándose posteriormente a obra mediante barco (Figura 5).



Figura 5. Montaje del dintel de pila en taller.

A continuación, se indican la distribución de trabajos en los diferentes talleres españoles y su ubicación (Figura 6):

- TECADE (Sevilla): tablero tramo atirantado y 9 dinteles de pilas
- MEGUSA (Sevilla)/ URSSA (Vitoria): 20 dinteles de pila.
- DIZMAR (Vigo): 8 dinteles de pila.

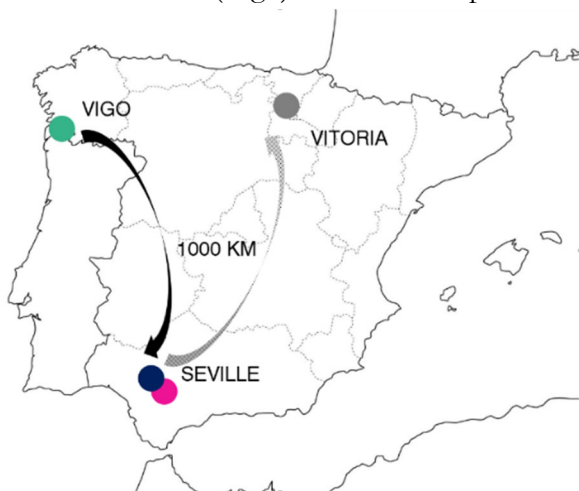


Figura 6. Localización de talleres.

3. Descripción de trabajos

Parte de las labores que el Equipo de Diseño ha tenido que realizar durante la construcción han sido la Coordinación Técnica del diseño y el Aseguramiento del Control de Calidad. IDEAM

ha colaborado con los diseñadores desempeñando estas funciones desde los talleres metálicos españoles.

Las principales funciones que se han desempeñado desde la Coordinación del Diseño han sido:

- Coordinar y agilizar la transmisión de información entre el equipo de diseño y el departamento técnico de los talleres, en lo relativo a las modificaciones de diseño.
- Coordinar y acelerar la respuesta de las consultas técnicas realizadas por los talleres.
- Coordinar la revisión de planos de taller.

Asimismo, dentro del Aseguramiento de la Calidad las principales funciones que se han llevado a cabo han sido:

- Supervisar que los materiales, los procesos constructivos y los productos resultantes eran conforme a los estándares de fabricación.
- Localizar y llevar un seguimiento de las principales incidencias detectadas en taller.
- Coordinar con los talleres y el Consorcio la resolución de las incidencias.
- Dejar registro por elemento de las incidencias y su resolución.

Uno de los aspectos más importantes que se ha debido tener en cuenta durante la realización de estos trabajos ha sido la necesidad de no afectar a los plazos de fabricación, debido a las penalizaciones existentes en caso de retrasos en la fecha para la puesta en servicio de la estructura.

3.1. Sistematización de las labores de Aseguramiento de la Calidad

Desde el punto de vista del Aseguramiento de la Calidad, y con el objeto de su sistematización, los trabajos se han agrupado en tres partes:

- Visitas a taller.
- Documentación de calidad.

- Coordinación de equipos de diseño y construcción.

Las visitas a taller tenían como objeto el realizar un seguimiento de la fabricación, supervisar las principales etapas del control, como los puntos de parada (Figura 7), y hacer un seguimiento de las principales incidencias. Para hacer esta labor ha sido necesario mantener un registro del estado de fabricación y las principales incidencias e informar mediante los correspondientes partes e informes diarios y semanales a la propiedad y al resto de participantes del consorcio.



Figura 7. Visita a obra, punto de parada para la supervisión del dintel de pila.

Por otro lado, como parte de las tareas relacionadas con el control de la documentación, ha sido necesario realizar un seguimiento de los planos de taller, los procesos de fabricación y control de calidad generados por los talleres. Esto se complementaba con auditorías puntuales sobre la documentación asociada a los elementos fabricados y vigilando que las incidencias de fabricación se documentaban correctamente (Figura 8).

Por último, se ha llevado una estrecha coordinación con el equipo de diseño y los diferentes equipos productivos presentes en la construcción. El objetivo principal de esta labor ha sido el eliminar o minimizar los retrasos de fabricación debidos a las incidencias:

- Compartir el seguimiento de los cambios derivados por las modificaciones en planos de diseño, planos de taller, no

conformidades y otras consultas técnicas.

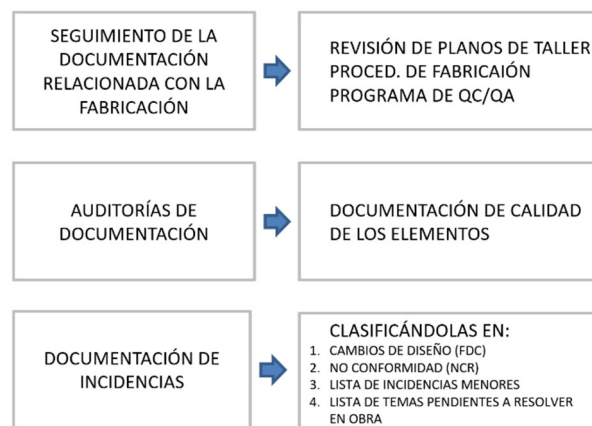


Figura 8. Esquema de la revisión documental.

- Coordinar la resolución de las incidencias detectadas en taller, su reparación y su documentación.

Para agilizar todas las tareas asociadas a este triple enfoque, se ha dispuesto una **plataforma digital** particularizada para la obra que ha permitido sistematizar la toma de datos, su revisión y gestión para automatizar el proceso de control mediante el uso de dispositivos móviles. La plataforma ha sido particularizada para la tipología de elementos, subdivisiones y procesos constructivos existentes en la obra permitiendo realizar una recolección lógica y ágil de los datos.

La documentación recolectada se ha almacenado en una **base de datos** para posteriormente en oficina poder realizar una evaluación de las incidencias de acuerdo a las especificaciones del proyecto, planos de taller, no conformidades o propuestas de cambio e informes de reparación.

La base de datos ha permitido llevar a cabo un registro automatizado de la documentación gráfica, el progreso de la fabricación y las incidencias, facilitando su clasificación por elemento y taller y favoreciendo realizar su seguimiento en el tiempo.

Por otro lado, a partir de esto datos se ha automatizado la realización de los informes de seguimiento diarios y semanales y la clasificación de las incidencias por elemento en función de su

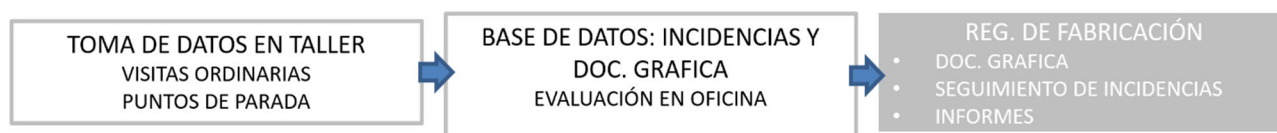


Figura 9. Esquema de trabajos para el seguimiento de incidencias.

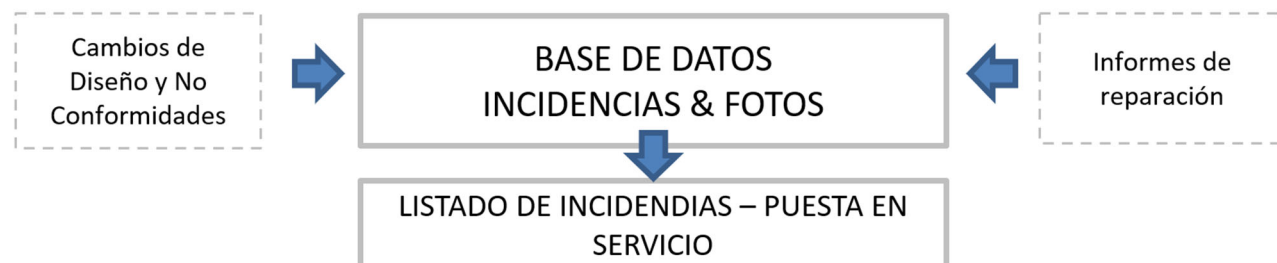


Figura 10. Esquema de trabajos para la documentación de incidencias para la entrega de la obra.

Importancia, permitiendo así poder documentar las incidencias registradas por elemento en la entrega de la obra para la puesta en servicio.

Los esquemas de trabajo para el seguimiento de incidencias y su documentación se muestran a continuación (Figura 9 y Figura 10).

4. Principales incidencias detectadas

Durante la fabricación de las obras se han detectados una serie de incidencias, que ajenas a las propias de la fabricación en taller han tenido una mayor implicación en la obra:

- Falta de contacto en uniones de responsabilidad.
- Cambio de ubicación de los elementos en obra.
- Actualización del proceso constructivo del vano principal atirantado

4.1 Falta de contacto en uniones de responsabilidad

Las exigencias del proyecto y la normativa canadiense establecen unos requisitos de planeidad y separación muy estrictos para las uniones en la que se transmiten fuerzas de compresión por contacto. Este requisito era necesario en:

- Las uniones tipo brida de los elementos principales de los dinteles de pila.
- En las zonas de contacto de la platabanda inferior con diafragmas y cuñas en apoyos.
- En las basas de apoyo para el anclaje de los tirantes

En las pilas las uniones atornilladas tipo brida se ubicaban originalmente en la unión central del dintel y en las secciones inferiores que actuaban como elemento de unión con el fuste de la pila (Figura 11).

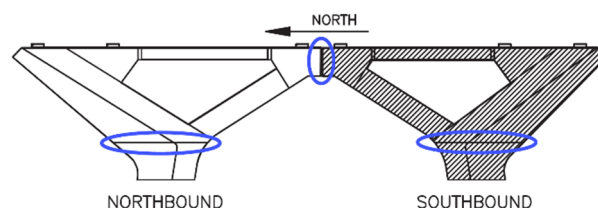


Figura 11. Uniones atornilladas en dintel de pila

Para la unión central se estudió un nuevo diseño ya que se necesitaba tener una mayor capacidad de ajuste, al ser una unión a realizar en obra en altura. Por lo que se pasó de la unión tipo brida pretensada (Figura 12) a una conexión mediante un núcleo interior de hormigón pretensado, que conectaba a ambos dinteles metálicos (Figura 13).

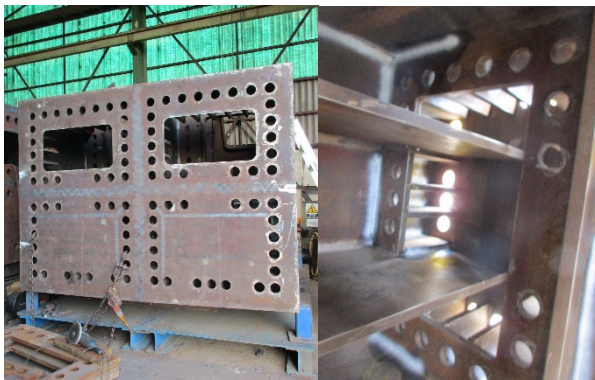


Figura 12. Brida pretensada, diseño original.

En el caso de la unión inferior, se optó por optimizar el proceso de fabricación de las piezas. Para ello se procedió mecanizando las bridas de ambos segmentos para posteriormente utilizar como plantilla el segmento superior o la brida de éste para el montaje y soldadura del segmento inferior (Figura 14).

Este proceso ha permitido minimizar las deformaciones durante el soldeo en la mayor parte de los casos. Cuando puntualmente no se ha podido garantizar un contacto adecuado la solución ha sido rellenar con una resina de alta resistencia las áreas con falta de contacto de manera previa al pretensado de los tornillos en obra.

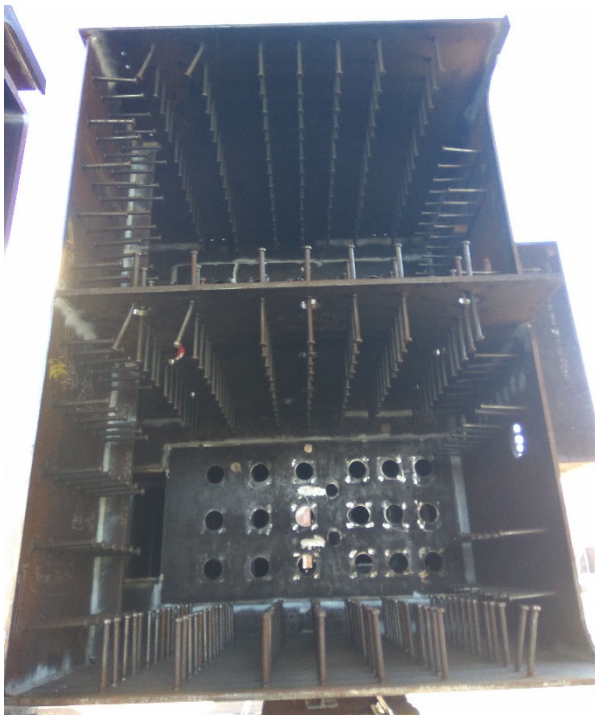


Figura 13. Brida pretensada, diseño con hormigón.



Figura 14. Soldadura del segmento inferior durante el montaje en blanco con el superior.

En los diafragmas, cuñas de apoyo y basas de los tirantes se procedió de manera similar a la sección inferior de pila, mecanizando las superficies en contacto de manera previa al armado y soldadura. Se optimizó la secuencia de soldeo y el volumen de las soldaduras de unión para minimizar las deformaciones, reduciéndose el número de incidencias. La secuencia de armado de la basa para el anclaje del tirante durante la verificación del contacto se muestra a continuación (Figura 15).



Figura 15. Secuencia de fabricación del diafragma de anclaje del tirante.

4.2 Cambio de ubicación de los elementos en obra

Debido a las exigencias de plazo de la obra fue necesario realizar un cambio en la ubicación de los dinteles de pila en obra. Este hecho fue posible debido a la compatibilidad a nivel geométrico y seccional existente en gran parte de estos elementos.

Para ello fue necesario analizar las diferencias existentes entre los elementos intercambiados para incorporar los cambios durante la fabricación en taller, minimizando el impacto en la obra.

Los cambios consistieron principalmente en reubicación de apoyos y huecos para instalaciones e inspección (Figura 16).



Figura 16. Vista general de uno de los dinteles de pila intercambiados.

4.3 - Actualización del proceso constructivo del vano atirantado

La fabricación del tramo principal atirantado estaba prevista que se realizase avanzando únicamente desde el pilono mediante voladizos sucesivos una vez el vano de retenida hubiese sido montado.

Con el objeto de reducir el plazo de montaje del tablero en obra, se realizó un cambio en el proceso constructivo, de manera que se contempló avanzar simultáneamente desde el lado opuesto al pilono disponiéndose una torre de atirantamiento provisional intermedia. De esta manera se simultaneaban los trabajos de montaje por ambos lados (Figura 17).

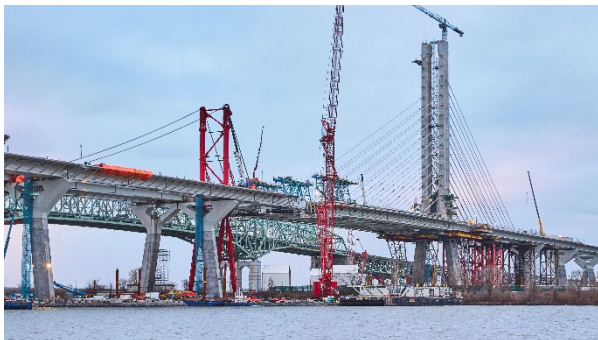


Figura 17. Vista general de uno de los dinteles de pila intercambiados.

5. Conclusiones

El puente de Samuel de Champlain ha supuesto una de las obras de mayor envergadura en Norte América. En su construcción han participado un gran número de personas y empresas de diferentes países y costumbres, por lo que ha sido necesario un elevado grado de adaptación y coordinación.

En este tipo de escenarios resulta imprescindible saber valorar adecuadamente cada situación buscando un compromiso entre los requisitos del diseño y las demandas de los diferentes agentes productivos, con el objeto de buscar un consenso equilibrado. Este esfuerzo se ha visto incrementado por las diferencias técnicas asociadas a las prácticas propias de cada país. Labor en la que IDEAM tiene una elevada experiencia en base a los trabajos previos de asistencia técnica en obra.

Por otro lado, cabe destacar que el alto nivel de sistematización y control que permite actualmente la tecnología, exige de un análisis previo a su implantación, enfocado a reducir el esfuerzo humano y el de las empresas y haciendo una transición escalonada. En este caso, la sistematización que se ha llevado a cabo ha sido a nivel básico, sirviendo de base para desarrollos posteriores.

La sistematización de la toma de datos en obra y el posterior seguimiento de los mismos mediante plataformas digitales, es un aspecto que debe tenerse en cuenta de manera previa al inicio de cada obra. Un pequeño estudio inicial puede permitir llevar a cabo un seguimiento sencillo y completo sin incurrir en los sobrecostos de las plataformas más complejas.

Por último, atendiendo a las principales incidencias y dificultades encontradas en esta y otras obras, resulta recomendable que:

- El diseño priorice las soluciones con procesos de fabricación y montaje flexibles y con una adecuada capacidad de ajuste en obra.

- Se agilice la coordinación entre los equipos de diseño y obra, fundamental para anticipar la solución de incidencias y reducir su impacto en la obra.

6. Principales participantes

La ejecución la ha llevado a cabo el Consorcio Signature Sur le Saint-Laurent (SSLC) formado por la Concesionaria: SNC-Lavalin, ACS y HOCHTIEF; los Contratistas: SNC-Lavalin, Dragados Canada, Flatiron Constructors Canada y EBC; y los Diseñadores (EJV): SNC-Lavalin, T.Y. Lin International e International Bridge Technologies.

Las empresas que han participado desde España han sido:

Empresa Constructora:	DRAGADOS
Control de Calidad:	APPLUS
Talleres	TECADE
	MEGUSA
	URSSA
	DIZMAR
Asistencia Técnica especializada:	IDEAM <i>D. Miguel Ortega Cornejo</i> <i>D. Pedro Atanasio Utrilla</i> <i>D. Guillem Collé Mundet</i>