

PROYECTO DE EMPUJE DEL PUENTE SOBRE EL CANAL DE BEAUHARNOIS (MONTREAL, CANADÁ)

Hugo CORRES PEIRETTI

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
FHECOR
Presidente
hcp@fhecor.es

Javier ANDUEZA OLMEDO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
FHECOR
Jefe de equipo de Obra Civil
jao@fhecor.es

Francisco MILLANES MATO

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
IDEAM
Presidente
general@ideam.es

Enrique BORDÓ BUJALANCE

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
IDEAM
Jefe de proyectos
enrique.bordo@ideam.es

RESUMEN

El artículo describe los criterios de diseño adoptados por los autores en el Proyecto de Empuje y Diseño de Medios auxiliares del Puente sobre el Canal de Beauharnois (Montreal, Canadá), estructura proyectada por Arup e incluida dentro de las obras de la Nouvelle Autoroute A30, construida por la UTE ACCIONA-DRAGADOS, siendo ALE la encargada de realizar las operaciones de empuje. El puente será una de las primeras estructuras empujadas de Canadá, presentando importantes dificultades técnicas por la gran curvatura en alzado, y los condicionantes de diseño del metal impuestos por la propiedad. La parte empujada del puente tiene una longitud total igual a 1465 m, con vanos tipo de 81.90 m de longitud, y un vano principal de 150 m de luz, lanzado con torre provisional de atirantamiento.

PALABRAS CLAVE: Puente metálico, empuje, Canadá, torre de atirantamiento.

1. Descripción de la obra

El puente sobre el Canal de Beauharnois está formado por dos tableros gemelos separados 3.00m, de 2551m de longitud total y 14.22m de anchura cada uno de ellos. Los primeros 1095m (P1 a P26) están formados por un tablero de vigas prefabricadas de hormigón y los 1457m restantes (P26 a P44) están formados por un cajón metálico con una losa superior de hormigón. El tramo empujado corresponde a los 1457m finales, lanzándose únicamente la parte metálica de dicha estructura. El parque de empuje se sitúa por detrás del apoyo 44, de forma que la estructura avanza desde el apoyo 44 hasta el 26.

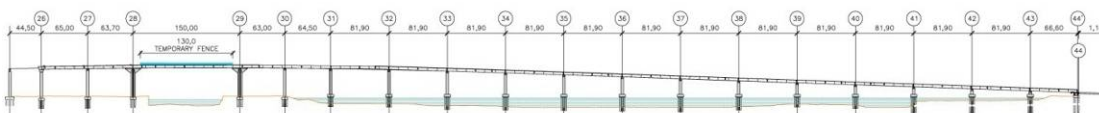


Figura 1. Vista general del tramo empujado. Alzado longitudinal

El tramo empujado está constituido por 18 vanos. El vano principal situado sobre el canal de navegación tiene una luz igual a 150m; 12 de los vanos restantes constituyen el “vano tipo”, de

81.90m de luz y el resto del tablero lo conforman 5 vanos de luces variables e inferiores a las anteriores. Así, las luces del tramo lanzado en la situación final son $65.00+63.70+150.00+63.00+64.50+12 \times 81.90+67.70$ m.

El puente se resuelve mediante un dintel mixto, a base de una sección transversal de tablero formada por un cajón metálico de 3675mm de canto con almas inclinadas 1H/5V y 5400mm de anchura inferior. Las pilas, de sección circular, son de hormigón armado, con dovelas prefabricadas conectadas entre sí mediante pretensado vertical.

El proyecto de empuje del Puente sobre el canal de Beauharnois ha ofrecido una respuesta técnicamente adecuada a la necesidad de realizar una estructura con un proceso constructivo que presentaba importantes condicionantes geométricos, tipológicos y climatológicos. Se trata de una de las primeras estructuras empujadas realizadas en Canadá, y constituye un ejemplo de aplicación no convencional de empuje de puentes metálicos, fundamentalmente por tener una gran variación geométrica en alzado y por presentar una solución no estándar en el diseño frente a abolladura por carga concentrada ("patch loading"). También resulta de interés el diseño de los numerosos medios auxiliares necesarios para el empuje (apoyos, guías laterales, estabilizadores, torre provisional de atirantamiento, anclajes de unidades de tiro, vigas de retenida y tiro, etc.).



Figura 1. Fotomontaje de la obra una vez terminada

El empuje del tablero se realiza con la estructura metálica en cajón abierto, empleando nariz y torre de atirantamiento para el cruce del vano principal.



Figura 2. Vista de un tramo de sección metálica del cajón

2. Condicionantes del diseño

El diseño del empuje presenta una serie de condicionantes complejos, los cuales han demandado un gran esfuerzo en las tareas de diseño, para poder ofrecer una respuesta que diera satisfacción a todos ellos. Los principales han sido:

- El tramo lanzado se encuentra en una alineación recta en planta, mientras que en alzado se encuentra en un acuerdo parabólico entre P26 y P34 y en una alineación recta con el 3.4% de pendiente entre P34 y P44. Esta geometría irregular en alzado hace que el estudio del lanzamiento haya sido muy complejo, debido a que el tramo curvo de tablero tiene que deslizar por una línea recta hasta alcanzar su posición definitiva, lo que implica que el tablero presentará grandes deformaciones hasta apoyar en las pilas. El estudio de las fases de lanzamiento ha debido tener en cuenta los esfuerzos de flexión debidos a las fuertes deformaciones impuestas, y la gran variabilidad de deformaciones (que también afectan al diseño de la nariz). El tratamiento de la geometría y cinemática del ensamblaje en parque de empuje, con numerosas fases de ajustes geométricos y de cota sobre los skidshoes, ha requerido un estudio largo y laborioso.

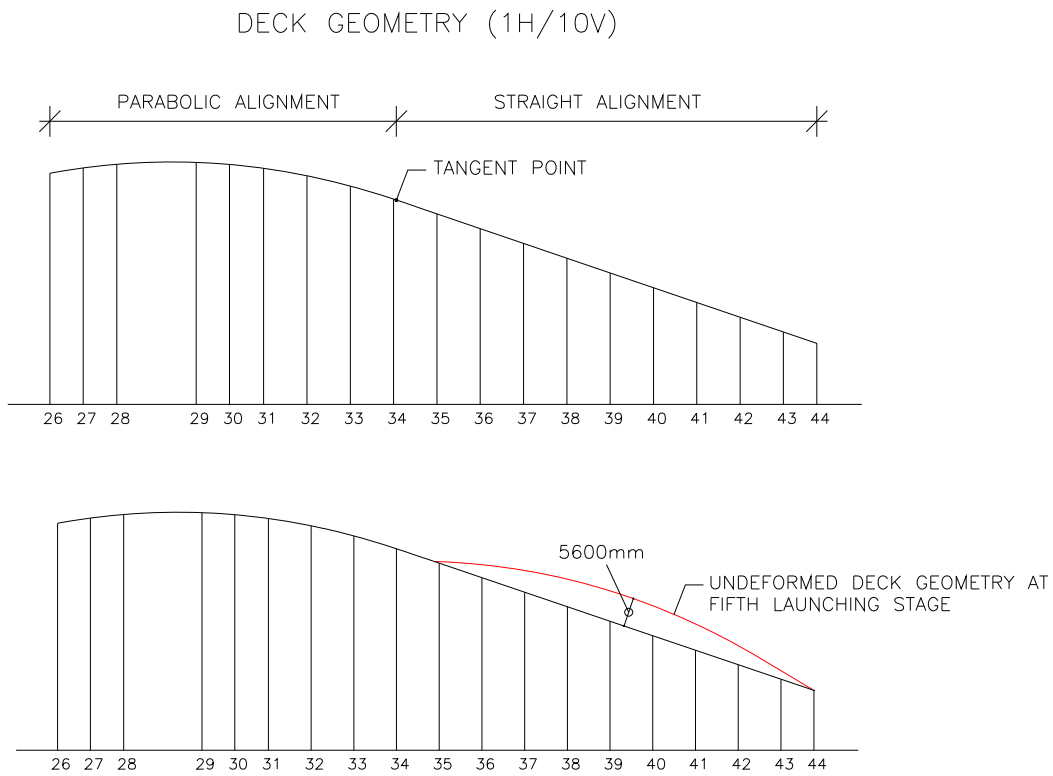


Figura 3. Alzado esquemático del tramo empujado y de una de las fases



Figura 4. Skidshoe en parque de empuje, con medios de ajuste de cota

- Debido a requisitos exigidos por el Ministerio de Transportes de Quebec, y a la Normativa canadiense, no pudieron disponerse en el interior del cajón zonas que en un futuro fueran no inspeccionables. Por este motivo, no pudieron disponerse células longitudinales en las aristas del cajón situadas sobre los apoyos, de modo que la forma más eficaz y convencional de rigidizar las zonas de introducción de las cargas en los apoyos durante el empuje no estaba permitida. La necesidad de solucionar el empuje sin disponer células cerradas sobre los apoyos deslizantes afectó en gran medida al diseño frente abolladura ante cargas concentradas ("patch loading"), que se resolvió mediante rigidización vertical del alma y regresamiento local del ala inferior sobre los apoyos.

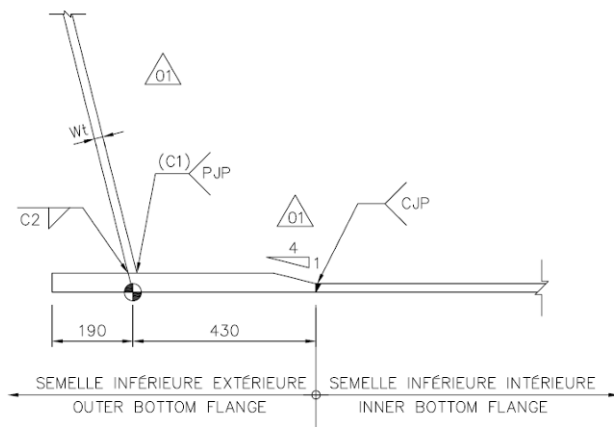


Figura 5. Detalle de reguesamiento del ala inferior

- El cruce del vano principal de 150m de luz se planteó mediante la utilización de una torre de atirantamiento provisional situada sobre el tablero. Debido a condicionantes geométricos, los apoyos provisionales en las pilas adyacentes al vano principal han tenido que disponerse por fuera de éstas; sobre unas vigas metálicas provisionales unidas a las pilas mediante barras tesadas de acero de alta resistencia.
- Se han empleado mayoritariamente uniones atornilladas como medio de unión entre piezas. En las juntas entre dovelas se han diseñado uniones híbridas atornilladas-soldadas.
- Situaciones climatológicas severas en invierno han obligado a considerar cargas importantes de nieve y hielo, y al estudio pormenorizado de los requisitos de resiliencia en los diferentes aceros de la obra.



Figura 6. Canal de Beauharnois. Construcción de pilas

Teniendo en cuenta estos condicionantes, se diseñó tanto el proceso de montaje, como el conjunto de medios auxiliares, además de verificar que la estructura era capaz de resistir las diferentes solicitaciones durante construcción, y definiendo en el Procedimiento de Empuje todos los parámetros de control (incluyendo valores límite de aviso y parada). Adicionalmente se han realizado diferentes tareas de control de la fabricación de los distintos elementos.

3. Elementos auxiliares

El trabajo de definición del Proceso de Empuje ha comprendido también el diseño de los diferentes medios auxiliares, tenido en cuenta su adecuación y conexión con el tablero, y los elementos aportados por ALE.

Destacamos los siguientes:

- **Nariz de empuje.** Diseñada en celosía, con puertas abatibles para realizar la aproximación a las pilas, y con elementos para la fijación de los gatos de recuperación de flecha.

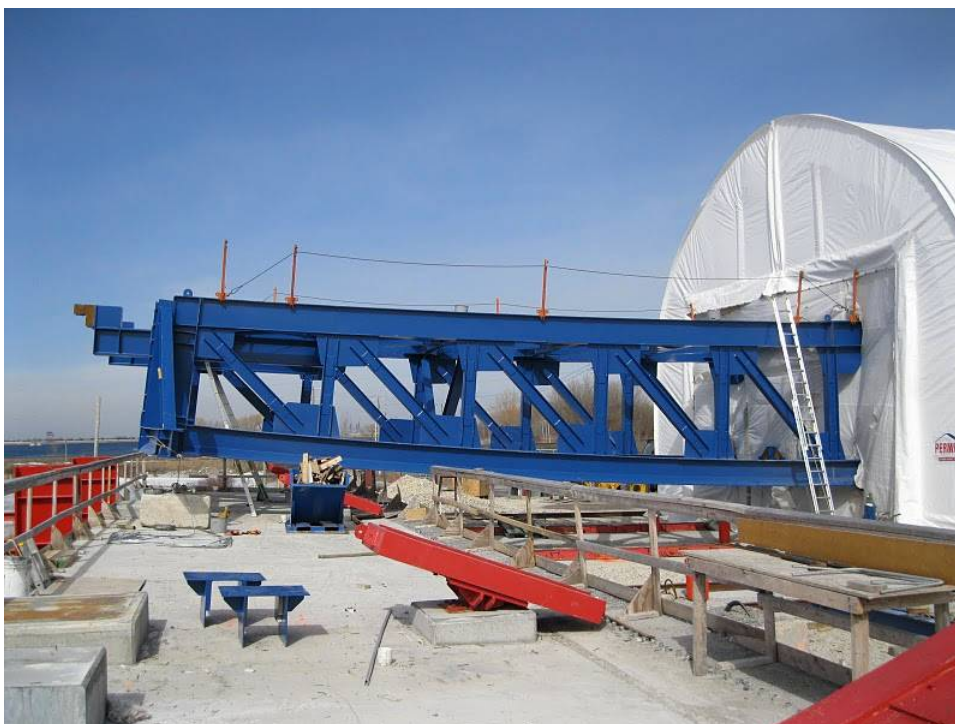


Figura 7. Nariz de lanzamiento

- **Conexión nariz-tablero.** Se realiza por medio de uniones bulonadas y atornilladas, para facilitar el ensamblaje y desmontaje de la nariz.



Figura 8. Frontal del cajón donde se conecta con la nariz



Figura 9. Detalle de conexión bulonada nariz-tablero

- **Torre de atirantamiento.** Se han realizado las verificaciones y adaptaciones necesarias para habilitar la torre, fabricada por ALE. La conexión con el tablero se realiza por medio de uniones bulonadas.
- **Anclajes de unidades de tiro.** Se han resuelto mediante el diseño de orejetas específicamente adaptadas al cajón y a las unidades de tiro de ALE
- **Guías laterales.** Citamos como aspecto importante en el diseño la concepción de las guías laterales en cabeza de pila, que confieren la adecuada estabilidad en sentido transversal, al ser las fuerzas de viento y guiado mayores a las que pueden soportar los aparatos deslizantes. Se fijaron de forma exenta a las cabezas de pila mediante barras de tesar.



Figura 10. Vista de guías laterales

- **Estabilización de patines.** Se definieron los elementos de arriostramiento entre patines (skidshoes), con el fin de que fueran ligeros, y de fácil montaje y desmontaje.



Figura 11. Estabilización de patines

- **Elementos de ajuste de cota en parque de empuje.** Realizados para tener en cuenta la gran variación de cota debida al acuerdo vertical. Ello obligó a dotar de mayor carrera a los gatos del skidshoe, lo que se consiguió mediante casquillos modulares de fácil manejo y montaje. Incluyen además un sistema de vinculación en transversal. Puede verse también en detalle en la figura 3.



Figura 12. Vista de patines con elementos de ajuste de cota.