

Construcción de los viaductos de aproximación del Nuevo Puente de Champlain sobre el río San Lorenzo en Montreal (Canadá)

Construction of the approach viaducts of the New Champlain Bridge over the Saint Lawrence River in Montreal (Canada)

Guillermo Lorente Perchín^a, Conchita Lucas Serrano^b, José Luis Conesa de la Presa^c, Antonio Caracena Gago^d

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. gGravity Engineering. Servicio de Puentes y Estructuras de Obra Civil

^bIngeniera de Caminos, Canales y Puertos. gGravity Engineering. Jefe del Departamento de Puentes y Estructuras de Obra Civil, Geotecnia y Obras Marítimas

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dragados Canada. Construction Manager

^dIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dragados Canada. Superstructure Manager

RESUMEN

Los viaductos de aproximación Oeste y Este del Nuevo Puente de Champlain, en Montreal, presentan longitudes de 2.044 y 773 metros respectivamente. Con vanos tipo en el entorno de los 80 metros su sección transversal es igual en ambos viaductos, con tres tableros independientes, que en conjunto alcanzan los 60 m de anchura. Son estructuras mixtas de tipo cajón, con doble acción mixta en zona de pilas. Los elementos más característicos de los viaductos son los dinteles metálicos que coronan las pilas. Su geometría tipo pórtico en forma de W permite el apoyo de los tres corredores del tablero. Los alzados de las pilas y las cimentaciones en agua se ejecutaron mediante elementos prefabricados de hormigón.

ABSTRACT

The West and East approach viaducts of the New Champlain Bridge in Montreal have total lengths of 2,044 m (West) and 773 m (East). With typical spans in the range of 80 m, their cross section is the same in both approaches, formed by three independent corridors, with a total width of 60 m. They are steel-concrete composite box girder structures, with double composite action at piers. The most singular elements in these viaducts are their steel pier caps. Their W-shaped geometry allow them to support the three corridors that form the superstructure. Pier legs and in-water footing were built with precast concrete elements.

PALABRAS CLAVE: doble acción mixta, losas sección completa, dinteles metálicos, pilas prefabricadas, climatología

KEYWORDS: double composite action, full-depth slabs, steel pier caps, precast piers, climatology

1. Descripción de la estructura

El Nuevo Puente de Champlain sobre el río San Lorenzo, en Montreal (Canadá), es una estructura de 3.335 m de longitud y 60 metros de

anchura construida para sustituir al puente de Champlain, construido en 1962, que presentaba importantes deterioros debidos a problemas de

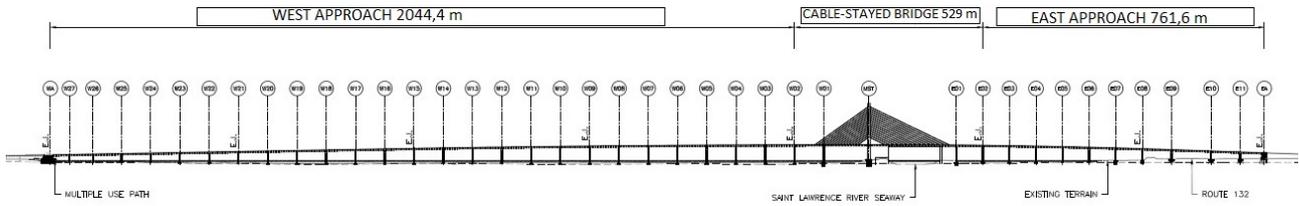


Figura 1. Alzado general del Nuevo Puente de Champlain.

La estructura está dividida en tres tramos (ver figura 1): el tramo atirantado y los dos viaductos de aproximación, centrándose la presente comunicación en la construcción de estos últimos.

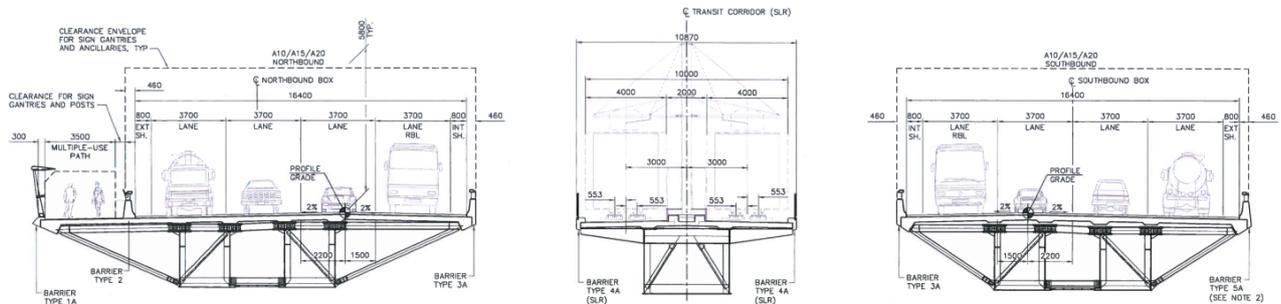
Los viaductos de aproximación Oeste y Este presentan longitudes de 2.044,4 y 761,6 metros respectivamente.

El viaducto Oeste tiene 26 vanos distribuidos de la siguiente manera: 52,5 - 65 - 77,7 - 80,4x23 m. Sus pilas se numeran desde W02, común para el acceso Oeste y el tramo atirantado, hasta W27, que queda junto al estribo oeste (WA). Está dividido a su vez en 4 tramos,

dos de 7 vanos (W02 a W09 y W21 a WA) y dos de 6 vanos (W09 a W15 y W15 a W21), quedando por tanto las juntas de dilatación que los dividen en las pilas W02, W09, W15, W21 y en el estribo oeste (WA).

El viaducto Este tiene 9 vanos, distribuidos de la siguiente manera: 84,43x6 - 109 - 84,43 - 61,56 m. Sus pilas se numeran desde E02, común para el acceso Este y el tramo atirantado, hasta E10, que queda junto al estribo este (EA). Está dividido a su vez en 2 tramos, uno de 5 vanos (E02 a E07) y otro de 4 vanos (E07 a EA), quedando por tanto las juntas de dilatación en las pilas E02, E07 y en el estribo este (EA).

La sección transversal (ver figura 2) es igual en ambos viaductos, conformada por tres tableros independientes, norte, central y sur, de anchuras 21,93, 10,87 y 17,45 m respectivamente.



Son estructuras mixtas de tipo cajón, con doble acción mixta en zona de pilas y canto constante de 3,60 m en el eje del corredor central, de los que 3,25 m corresponden a la estructura metálica. La sección se completa con losas prefabricadas de canto completo, de 25 cm de espesor tipo, que crece en los apoyos de las mismas. El hormigón inferior en las zonas de pilas, presenta un espesor de 40 cm.

El corredor central, denominado Transit Corridor (TC), por su menor anchura tiene un cajón monocelular, mientras que los otros dos corredores, norte y sur, se conforman con cajones tricelulares con 4 almas. En todos los casos la sección cajón se completa con jabalcones metálicos a cada lado de la sección, con una separación longitudinal entre ellos de algo menos de 4,5 m.

La subestructura de los viaductos de aproximación presenta varias zonas diferentes. En el viaducto Oeste encontramos cimentaciones directas en todos los apoyos a excepción de la pila W02, común con el tramo atirantado, y del estribo WA, que son pilotados. En el viaducto Este encontramos cimentaciones directas, en algunos casos con rellenos de hormigón en masa bajo las zapatas, entre los apoyos E02 y E06 y cimentaciones profundas pilotadas o micropilotadas desde la pila E07 hasta el estribo EA.

Las pilas son probablemente uno de los elementos más singulares de la estructura y su diseño estaba definido desde un punto de vista arquitectónico como una de las bases del proyecto. Se trata de pilas de tipo pórtico con sus patas ligeramente inclinadas (9°) hacia el interior y con un dintel superior en forma de W, que alcanza una anchura de 52 m para permitir que

apoyen sobre él los tres corredores que conforman la superestructura. (Ver Figura 3)

Las patas de las pilas son de hormigón y se conforman a partir de dovelas prefabricadas. Presentan una sección hexagonal (ver Figura 4) con aligeramiento interior y una ligerísima variabilidad en altura, aunque podemos señalar unas dimensiones tipo de aproximadamente 5,7 m de ancho x 3,6 m de canto. Las paredes de hormigón de la sección aligerada presentan espesores entre 0,45 m y 0,80 m, en función del elemento y altura respecto a la base de la dovela. Interiormente se realiza un relleno de hormigón hasta una determinada altura que varía en función de la pila de que se trate y de su ubicación en el río o no.

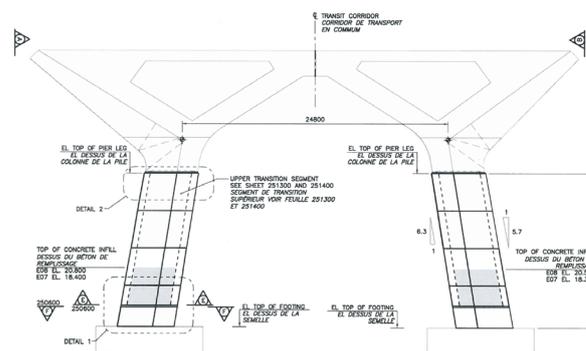


Figura 3. Geometría de las pilas de los viaductos de acceso del Nuevo Puente de Champlain

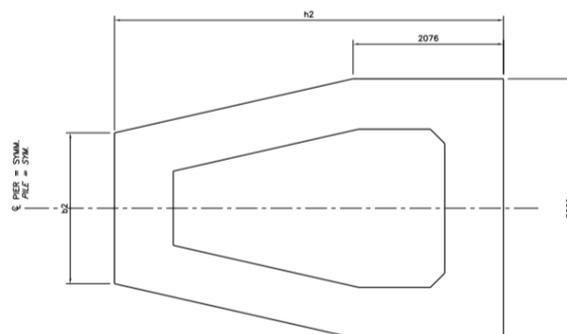


Figura 4. Sección de las patas de las pilas

original los dinteles eran también de hormigón, pero en aras de facilitar su ejecución y montaje se decidió hacerlos metálicos.



2. Construcción de los viaductos

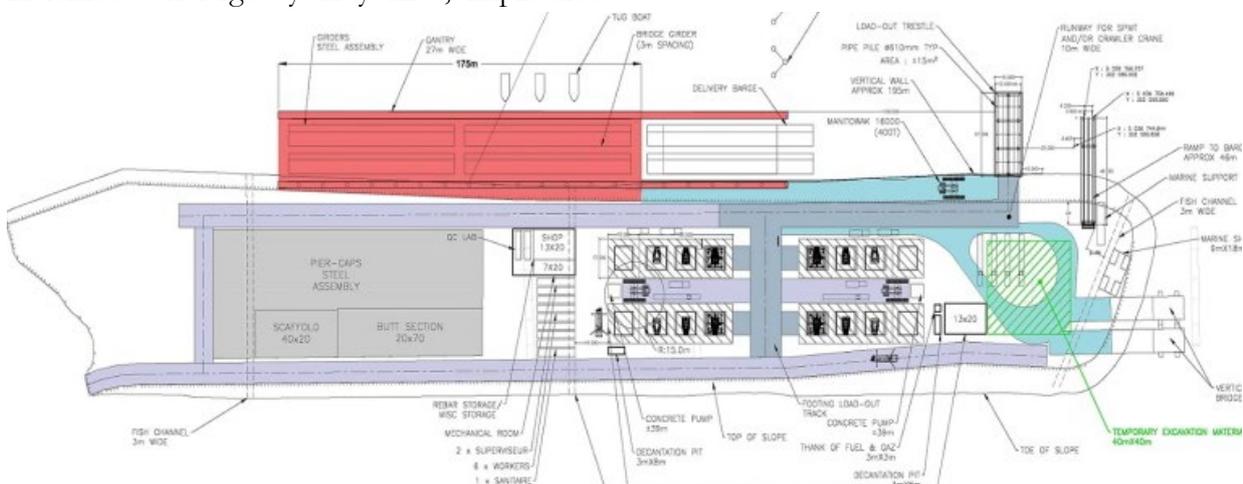
Una vez descrita la estructura se va a analizar cómo se ejecutó la misma. Probablemente los aspectos más determinantes a la hora de elegir los sistemas constructivos utilizados para la ejecución de la estructura fueron la climatología y la ubicación de la misma, cruzando un río de gran anchura.

Hay que tener en cuenta que estamos hablando de una obra en Canadá, donde los inviernos son largos y muy fríos, implicando

serias dificultades para hormigonar, por ejemplo, y que el viaducto se sitúa sobre un río, el San Lorenzo, que en esa zona se acerca a los 3 km de anchura.

Es por ello que uno de los objetivos fundamentales a la hora de afrontar la construcción de los viaductos de acceso fue el de industrializar al máximo las diferentes operaciones a realizar, por lo que la prefabricación jugó un papel clave en esta obra, permitiendo ajustar los plazos de ejecución.

Para encarar una obra de esta magnitud es necesario poder ejecutar la misma desde varios frentes a la vez. En el caso de los viaductos de acceso, para el viaducto Oeste se ejecutó una península provisional que permitía la ejecución en tierra del estribo y las pilas W27 a W22 y que además servía como muelle para acometer los trabajos en el cauce entre la pila W21 y la unión con el tramo atirantado (ver Figura 6). Con una superficie total de unos 45.000 m², cumplía además una importante función como zona de premontaje de los diferentes elementos que constituyen el puente.



En el viaducto Este se realizaron los trabajos en tierra, ejecutándose para ello un pantalán, paralelo al eje longitudinal del viaducto, del que salían penínsulas en la posición de cada una de las pilas de este viaducto de acceso, alcanzando en total una superficie de unos 20.000 m² (ver Figura 7).

2.1 Cimentaciones

En conjunto, entre ambos viaductos, teníamos un total de 2 estribos y 35 pilas. Los estribos se ejecutaron en tierra y en ambos casos son estructuras con cimentaciones profundas pilotadas. .



En cuanto a las pilas, en los viaductos de acceso tenemos dos tipos de ejecución para sus cimentaciones. Por un lado, tenemos cimentaciones ejecutadas en tierra, que corresponden a las 9 pilas del viaducto Este y a otras 7 pilas en el Oeste (de W27 a W22 y W02, que queda dentro del pantalán usado para ejecutar el tramo de compensación del tramo atirantado) y por otro lado, tenemos las otras 18 pilas del viaducto Oeste (de W21 a W03), que se ejecutaban en el río.

Hay que tener en cuenta que el número total de cimentaciones de pilas es el doble del número de pilas, pues cada pila tiene dos fustes con cimentaciones independientes, por lo que en total entre los dos viaductos de acceso tendremos 32 cimentaciones de pila en tierra y 38 en agua.



Para las cimentaciones en tierra se ejecutaron recintos tablestacados en los que se trabajaba después, excavando interiormente hasta la cota necesaria (ver figura 8). En ellos se ejecutaban bien cimentaciones directas, como es el caso de las pilas W27 a W22 o las pilas E02 a E06, o bien profundas, como sucedió en las pilas E07 a E10.

Más singulares resultan las cimentaciones en el río. La no excesiva profundidad del cauce, unida a la competencia del sustrato rocoso hacen viables las cimentaciones directas. Pero para ir un paso más allá se buscó, con vistas a industrializar los procesos, reducir los plazos y alargar los periodos de trabajo con independencia de las condiciones climatológicas, una solución prefabricada para las zapatas de las pilas.

Al tratarse de elementos de gran magnitud, se encomendó el trabajo de carga, transporte y posicionamiento de los elementos a una empresa especializada en el movimiento de grandes cargas, Sarens.

El sistema utilizado, (ver Figura 9) consistió en una especie de catamarán autopropulsado formado por dos barcasas modulares unidas entre sí por un pórtico que incluía unidades de izado de gran capacidad y con capacidad de giro de hasta 180°, para

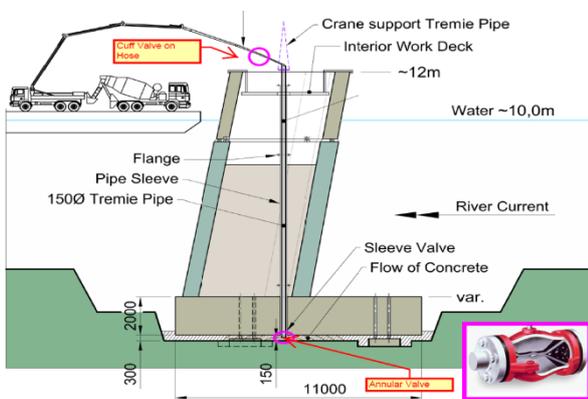
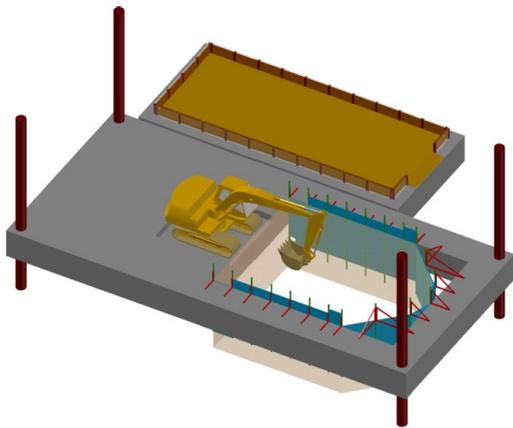
permitir rotar las piezas una vez cargadas, facilitando el transporte y posicionamiento.

Las zapatas, junto con el arranque de las pilas, llegaban a alcanzar las 1.000 toneladas de peso y fueron prefabricadas en tierra, reduciendo



Figura 9. Izado, transporte y colocación de zapatas.

Previamente al traslado de las piezas a su posición se realizaba la excavación y regularización de la zona en que apoyaría la zapata, con la ayuda de una barcaza que se fijaba tras ubicarse mediante GPS y una excavadora situada sobre ella (ver Figura 10).



así tanto las actividades en el río como las afecciones del clima al proceso, ya que la fabricación de las mismas se realizaba bajo grandes carpas en las que se controlaba la temperatura.

Para la correcta colocación de las zapatas se integró en el catamarán de Sarens un sistema de posicionamiento en tiempo real y se usaron tres gatos de apoyo, integrados en la base de cada zapata, que permitían el ajuste, realizándose, con ayuda de tubos tremie que atravesaban la zapata, un hormigonado de nivelación bajo las mismas para fijar así su posición y garantizar un apoyo uniforme (ver Figura 11).

2.2 Fustes de pilas

Del mismo modo que con las zapatas en el río, con los fustes de las pilas se buscó también industrializar los procesos, garantizando la calidad a priori y reduciendo los plazos. Para ello se decidió acudir al empleo de dovelas prefabricadas para ir conformando los fustes en altura. (Ver Figura 12)

El elemento de arranque de la pila, como ya se ha señalado, se ejecutaba junto con la zapata prefabricada, de manera que una vez instalado ese conjunto el arranque de la pila sobresaliese por encima del agua. La junta entre dicho arranque y la primera dovela prefabricada se realizaba in situ, de manera que se consiguiese ajustar perfectamente la geometría de las patas. Desde ahí se procedía colocando dovelas de pila prefabricadas, de altura tipo 3,5 m, salvo en

algún elemento de ajuste, y con un peso en el entorno de las 70 toneladas.



Figura 12. Montaje de dovelas de pila prefabricadas

La conexión entre dovelas sucesivas se realizó mediante barras de pretensado y llaves de cortante. Finalmente, todas las dovelas fueron cosidas entre sí con un pretensado con cables que se ejecutaba desde el elemento de conexión entre el dintel y el fuste y que atraviesa también la cimentación. Las dos patas de cada pila se arriostraban provisionalmente entre sí en cabeza hasta que el dintel superior estuviese completo. (Ver Figura 13)



Figura 13. Arriostramiento provisional de pilas

2.3 Dinteles

Ya se ha señalado al describir la estructura que los dinteles son probablemente el elemento más singular de los viaductos de acceso desde un punto de vista arquitectónico. Esto lleva a que desde el punto de vista de ejecución sean uno de los elementos de mayor complejidad.

Como se ha reflejado ya, uno de los aspectos clave a la hora de afrontar la ejecución de las estructuras fue la búsqueda de la industrialización de los procesos, de manera que se pudiesen ajustar al máximo los plazos de obra, garantizando además la calidad de ejecución. En el caso de los dinteles, ejecutarlos in situ hubiese sido muy lento y complejo, de ahí que desde el principio se plantease prefabricarlos.

Sin embargo, prefabricarlos en hormigón hubiese conducido a piezas excesivamente pesadas para su montaje. Por ello se decidió cambiar el diseño base y plantear una solución metálica para los dinteles. Hay que tener en cuenta que incluso en su configuración metálica estamos hablando de elementos que alcanzan las 400 toneladas de peso, lo que llevo a dividirlos en 4 piezas para su fabricación, transporte y montaje. (Ver Figura 14)

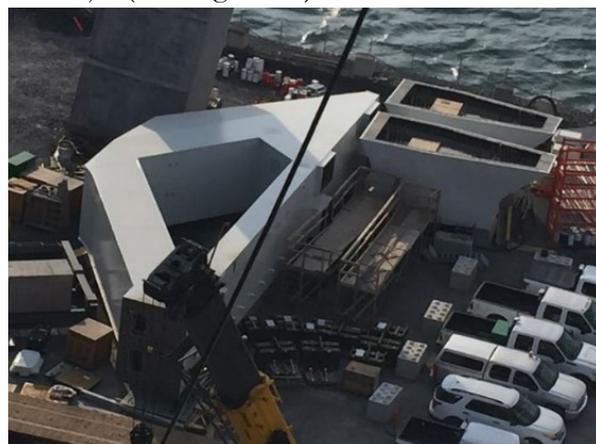


Figura 14. Acopio de elementos del dintel

De las 4 piezas que componen el dintel, dos de ellas, las más pequeñas, constituyen la transición de las patas de hormigón hacia el dintel metálico. Estos elementos son mixtos, están rellenos de hormigón y contienen los

anclajes del pretensado de continuidad que une todas las dovelas de las pilas con la cimentación.

Las otras dos piezas constituyen las dos mitades del cuerpo principal del dintel. Son metálicas y presentan una compleja geometría que obliga al ya citado arriostramiento en cabeza de las patas hasta que estén unidas entre sí. Dicha unión se materializa con barras de pretensado y con una zona hormigonada en el interior del dintel. (Ver Figura 15)



Figura 15. Conexión entre mitades del dintel

Los 37 dinteles, que corresponden a todas las pilas de la obra a excepción del pilono del tramo atirantado, fueron fabricados en España con rigurosos controles de calidad y enviados en barco hasta Montreal. Su puesta en obra se realizó con la ayuda de grúas de hasta 1300

toneladas de capacidad (Manitowoc M-1200 Ringer) situadas sobre pontona, las mismas que se utilizaron para montar los tramos metálicos del tablero en la parte sobre agua del viaducto Oeste.

2.4 Tableros

En lo que se refiere a la ejecución de los tableros debemos distinguir nuevamente entre el viaducto Oeste, construido fundamentalmente sobre agua, y el viaducto Este, que se construye sobre tierra. En el Oeste tenemos la estructura dividida en 4 tramos de 6 o 7 vanos cada uno de ellos.

Para ejecutar cada tramo se montó en primer lugar, y con la ayuda de soportes provisionales en ménsula en una de las pilas interiores del tramo, un sector de tablero de unos 40 m de longitud, 20 a cada lado del eje de pila. A partir de aquí se montaban, hacia uno de los dos extremos, tramos de tablero de un vano completo (aproximadamente 80 metros) previamente ensamblados junto al muelle del acceso Oeste. Para ello se utilizaron 1 o 2 grúas sobre pontona similares a las mencionadas en el montaje de los dinteles. (Ver Figura 16)

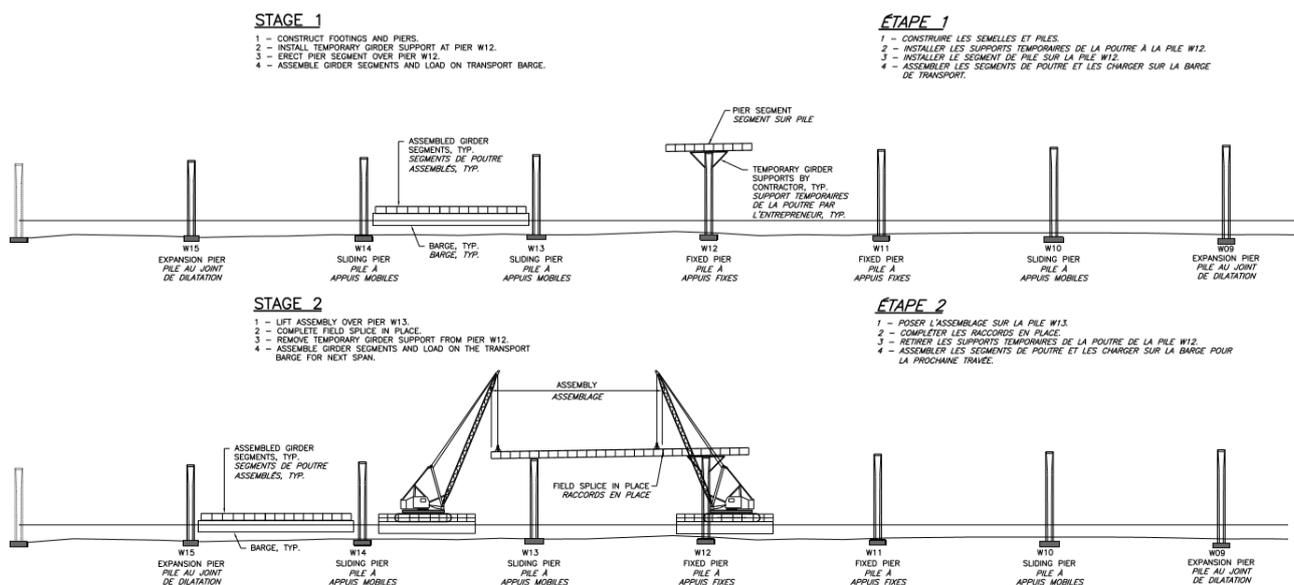


Figura 16. Inicio de la secuencia de montaje de uno de los tramos del viaducto Oeste.

En el caso del corredor central se montó de una sola vez la sección transversal completa, mientras que en el caso de los corredores norte y sur la sección transversal se dividió en 2 mitades que se izaron sucesivamente (ver Figura 17), conectándose después ambas con ayuda de elementos de ajuste específicos para tal fin.



Figura 17. Montaje de semisección de uno de los tableros laterales

este caso, los soportes provisionales en ménsula se usaron en cada una de las pilas interiores del pórtico, colocando sobre ellas un tramo de tablero de unos 40 m de longitud, 20 a cada lado del eje de pila. Entre medias, la zona central del vano, se colocaba con ayuda de grúas de orugas de hasta 650 toneladas de capacidad (Manitowoc MLC-650) a las que se alimentaba con ayuda de plataformas autopropulsadas (SPMT). (Ver Figura 18)

En el caso concreto del vano de 109 m que queda sobre la Autovía 132, se utilizaron 3 torres de apeo intermedias que permitían el uso de grúas más ligeras por la menor longitud de los tramos a montar. (Ver Figura 19)

En el Este tenemos la estructura dividida en 2 tramos de 5 y 4 vanos cada uno de ellos. En

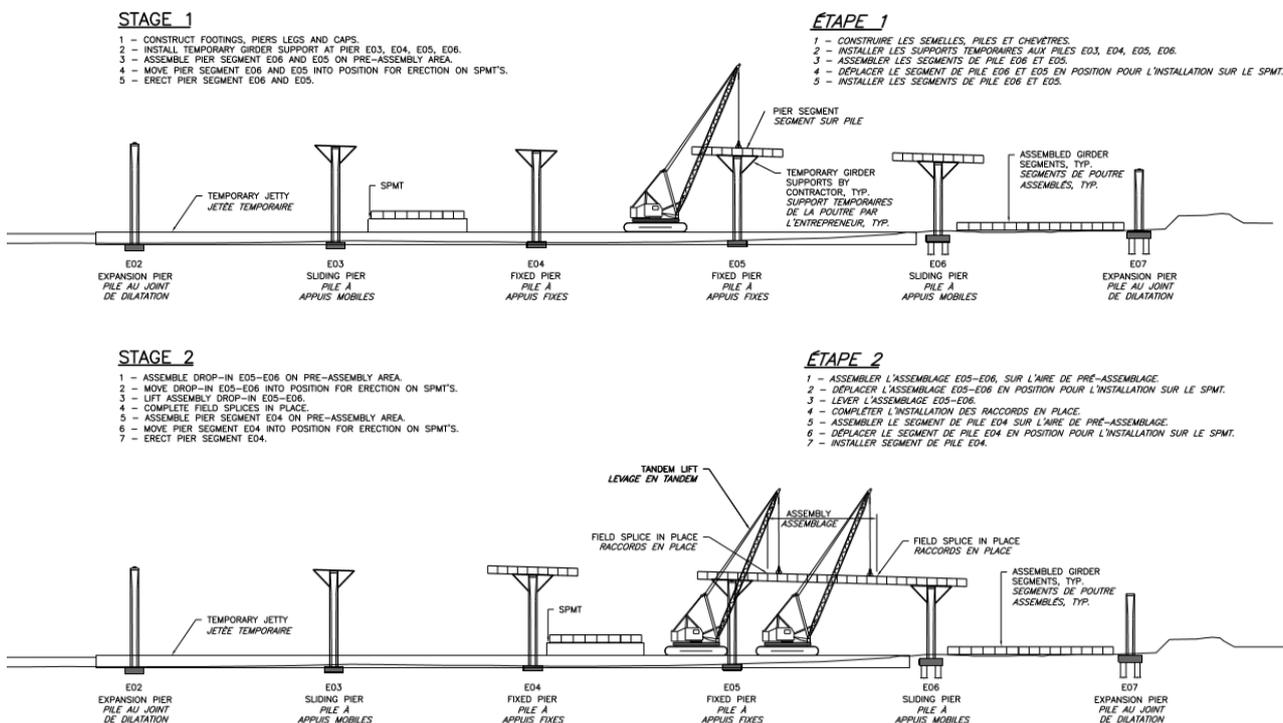


Figura 18. Inicio de la secuencia de montaje de uno de los pórticos del viaducto Este.

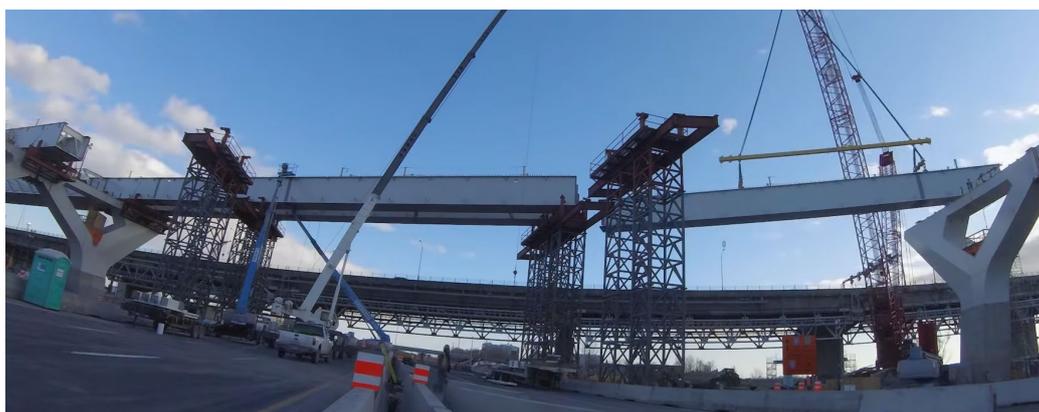


Figura 19. Montaje con apeos provisionales en el vano de 109 m sobre la Autovía 132

Tras colocar los tableros metálicos se ejecutó el hormigón de fondo en zonas de pilas, se colocaron las losas prefabricadas de canto completo que conforman el tablero, completando primero las de la zona central de la sección y después las de los laterales. Se diseñaron de canto completo para reducir los hormigonados in situ en un clima tan adverso. Su armadura es de acero inoxidable y es de destacar la precisión lograda en las juntas, que evitó tanto las interferencias entre barras como con los conectores de la estructura metálica (ver Figura 20). Tras hormigonar las juntas in

situ entre losas, quedaron únicamente para después los trabajos de acabado.



Figura 20. Detalle de la junta entre losas prefabricadas

