

CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO BARROW: VANOS DE ACCESO EJECUTADOS CON CIMBRA Y CARRO DE ALAS

Barrow river bridge construction: approach spans built with scaffold and wing traveler.

Luis Sopeña Corvinos ^a, Conchita Lucas Serrano ^b, David Espino Haya ^c, Rufino Pineda Sánchez ^d, Antonio Cuesta Mota ^e, Agustín Díez Devesa ^f

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniero Estructural. gGravity Engineering. Isopenac@ggravityeng.com.

^bIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Departamento. gGravity Engineering. clucass@ggravityeng.com.

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de obra. Dragados SA. despino@dragados.com.

^dIngeniero Técnico en Topografía y Obras Públicas. Jefe de Topografía / Jefe de Oficina Técnica. Dragados. S.A. rpinedas@dragados.com.

^eIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Producción. Dragados SA. acuestam@dragados.com.

^fIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ayudante de Producción. Dragados UK & Ireland. adiezd@dragados.com.

RESUMEN

El puente sobre el río Barrow, situado al sur de Irlanda, se divide en viaductos de acceso y tramo principal. El acceso oeste tiene 176 m de longitud, del estribo 1 a la pila 3, mientras que el este discurre desde la pila 5 hasta el estribo 2, con una longitud de 251 m. Estos viaductos se ejecutan en 2 fases; en una primera, el cajón central de 10.1 m de ancho se construye in situ mediante una cimbra porticada, con luz máxima 21 m. En una segunda fase se ejecutan los voladizos, mediante un carro de alas que circula por el tablero. Se usó el mismo carro de alas para completar la sección de ambos viaductos, primero se instaló en P3 para ir hacia el estribo 1, y luego se colocó en P5 hasta terminar en estribo 2.

ABSTRACT

The River Barrow Bridge consists of approach viaducts and a main span. The West Approach is 176 m long, measured from abutment 1 to pier 3. The East Approach, measured from pier 5 to abutment 2, is 251 m long. The approach viaducts are built in two stages: Firstly, a 10.1 m width central box section is built using a substantial frame scaffold which has a maximum span of 21 m. Secondly, the overhands, which complete the remainder of the cross section, are built using a form traveler. This “wing” traveler was installed on the West Approach viaduct and then on the East Approach viaduct. This publication will provide details of the construction techniques and innovations that were used to build the River Barrow Bridge.

PALABRAS CLAVE: cimbra, cajón, postesado, fases, carro de alas, hormigón, puntales continuos.

KEYWORDS: scaffold, box, postension, stages, wing traveler, concrete, continuous struts.

1. Introducción

El puente sobre el río Barrow pertenece al proyecto N25 New Ross Bypass, una autovía de circunvalación del pueblo de New Ross, situado entre los condados de Waterford y

Wexford en Irlanda. El cruce de río se resuelve con una estructura de hormigón de 887 m de longitud entre estribos, y con una distribución de vanos de 36 + 45 + 95 + 230 + 230 + 95 + 70 + 50 + 36.

En esta comunicación se describe la construcción de los viaductos de acceso,

incluyendo dentro de esta fase los vanos de compensación de 95 m del tramo central extradadoso.

2. Descripción de la estructura

Los 4 vanos principales, de 95 + 230 + 230 + 95 m, 650 m en total, son extradadosos,

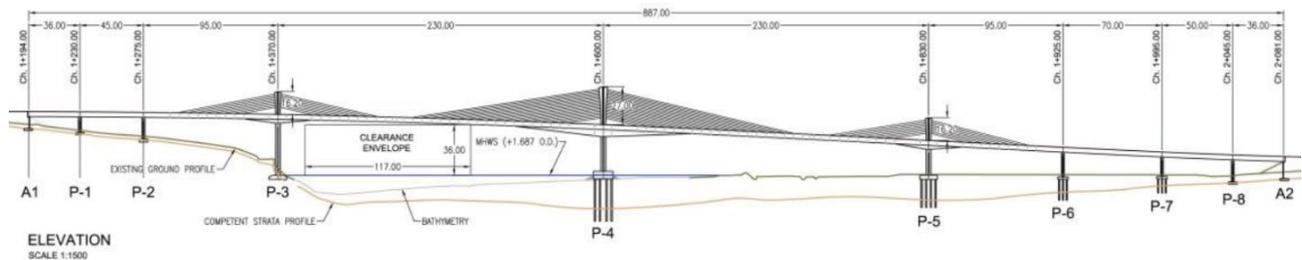


Figura 1: alzado con la distribución de vanos y pilas de la estructura.

La sección transversal es un cajón monocelular, de ancho variable entre 19.9 y 22.5 m, con unos voladizos sustentados mediante elementos prefabricados continuos tipo placa nervada a modo de puntal.

Los 887 m de tablero de estribo a estribo son sin juntas, habiendo juntas de dilatación únicamente en los estribos. La pila central P4 hace de punto fijo de la estructura, estando empotrada en el tablero, mientras en el resto de pilas y en los estribos el tablero apoya sobre POTs (libres o guiados).

3. Proceso constructivo

Desde el punto de vista constructivo, se divide la estructura en viaductos de acceso y tramo principal. El acceso oeste tiene 176 m de longitud, del estribo 1 a la pila 3, mientras que el este discurre desde la pila 5 hasta el estribo 2, con una longitud de 251 m. Estos viaductos se ejecutan en 2 fases; en una primera, el cajón

con tablero de canto variable, mientras que el resto de vanos son postesados de canto constante, 2 vanos de 36 + 45 m desde el oeste (81 m) y 3 vanos de 70 + 50 + 36 m desde el este (156 m).

central de 10.1 m de ancho se ejecuta in situ mediante una cimbra porticada, con luz máxima 21 m, hormigonando la sección central en 2 etapas: losa inferior y almas, y losa superior. En una segunda fase se ejecutan los voladizos, mediante un carro de alas que circula por el tablero. Se usó el mismo carro de alas para completar la sección de ambos viaductos, primero se instaló en P3 para ir hacia el estribo 1, y luego se colocó en P5 hasta terminar en estribo 2.



Figura 2: vista aérea de la construcción, desde el lado oeste (carro de alas y cimbra en vano 3).



Figura 3: vista aérea de la construcción, desde el lado este (carro de alas en vano 6, cimbra en vanos 6, 7 y 8).

3.1 Fase 1: cajón central cimbrado.

3.1.1. Descripción general

Debido a las grandes dimensiones de la sección transversal, se decide dividir la ejecución del tablero en 2 fases diferenciadas. En primer lugar, el cajón central, con un ancho de losa superior de 10.1 m, y en una segunda fase los voladizos y los puntales, con un carro de alas circulando por el cajón ya ejecutado.

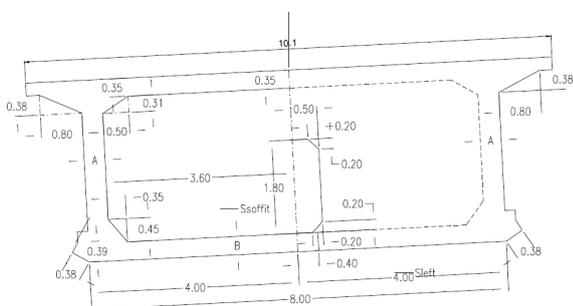


Figura 4: sección transversal.

Teniendo en cuenta las condiciones del terreno, especialmente en el lado este, donde no son muy buenas y se hace necesario llevar a cabo

cimentaciones profundas para elementos temporales como la cimbra, se concluye que el sistema de construcción del cajón central del tablero más eficiente es mediante una cimbra porticada de alta capacidad, con celosías metálicas de luz máxima 21 m, que apoyarán sobre elementos auxiliares anclados a las cabezas de las pilas definitivas y sobre torres de cimbra de alta capacidad.

3.1.2. Pilas temporales

Para optimizar al máximo la ejecución de los vanos principales, tanto en lo que se refiere a coste de los elementos auxiliares, como en lo que se refiere a plazo de ejecución, se decidió maximizar el alcance del tramo ejecutado con cimbra llevándolo hasta los pilonos laterales P3 y P5. De esta manera, los vanos de compensación de los vanos principales, de 95 m de longitud, necesitaron una pila temporal que dividiera esa luz por la mitad de forma que el tablero fuera capaz de resistir durante esa fase de construcción como una viga de 47.5 m de luz máxima hasta que comenzara la ejecución de los

vanos principales y se empezara con la instalación de los tirantes, finalizada la cual el vano podría empezar a funcionar como vano de compensación extradadoso de 95 m de luz.

Estas pilas temporales, TP1 para el vano 3 y TP2 para el vano 6, debido a la magnitud de los esfuerzos a los que iban a estar sometidas, se ejecutaron de hormigón armado utilizando los mismos medios auxiliares (encofrados) que para las pilas definitivas. De esta manera también se consiguió optimizar los medios auxiliares existentes en la obra.

Una vez finalizada la ejecución del tablero, las pilas temporales fueron desapeadas (eliminando los apoyos de neopreno) y posteriormente demolidas y retiradas, tanto el alzado como las cimentaciones.

3.1.3. Fases de la cimbra

Desde el lado oeste se construyeron con cimbra los 3 primeros vanos, de luces 36, 45 y 95 m (este último vano se dividió en 2 mediante una pila temporal, según se explica más adelante). En el lado este fueron 4 vanos de luces 95, 70, 50 y 36 m.

Debido a que en situación definitiva el punto fijo de la estructura es la pila central P4, es

necesario fijar la estructura durante la construcción, temporalmente. Para la construcción del vano de acceso desde el oeste se estableció como punto fijo el estribo A1, ya que se ejecutaba desde dicho estribo hasta P3. En el momento de tener hormigonado el tablero en la zona de P3 se movió a dicha pila el punto fijo de construcción, al ser más adecuado para la posterior ejecución en voladizo del vano 4, liberando en ese momento el bloqueo en el estribo A1. En el caso del acceso este, al ejecutarse desde P5 hasta el estribo contrario A2, el punto fijo de construcción se estableció en P5, y se mantuvo hasta el cierre del tablero, permaneciendo activo durante la construcción en voladizo del vano 5 desde P5.

Una opción para minimizar el plazo habría sido la de cimbrar de forma simultánea todo el tablero, desde estribo A1 hasta P3 y desde P5 hasta el estribo A2. Este sistema habría sido el de menor plazo, pero a costa de disparar las necesidades de material (celosías, torres, encofrados) así como de personal, tanto para montaje de la cimbra y los encofrados, como para ejecución del tablero (ferralla, pretensado y hormigón).

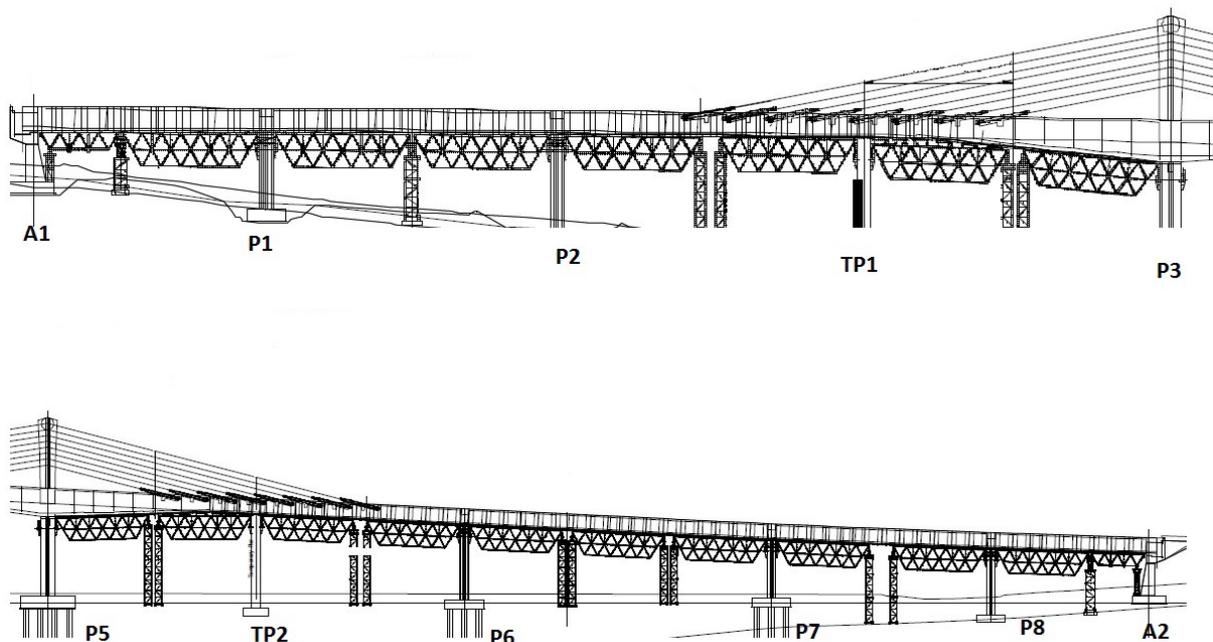


Figura 5: cimbra necesaria para fase única.

Es por esto que normalmente hay que dividir la ejecución del tablero en sentido longitudinal en distintas fases diferenciadas, buscando un equilibrio entre la cantidad de material auxiliar disponible, su coste, la mano de obra y resto de medios para ejecución del tablero, el número de fases de hormigonado y el plazo total de ejecución. Las fases constructivas se diseñaron siguiendo esta filosofía, si bien durante la obra fue necesario incrementar la cantidad de material de cimbra y encofrado para cumplir con los plazos establecidos. En este caso, el número de fases resultantes de este balance fue de 9:

Lado oeste (fases 1 a 4):

Fase 1: de A1 hasta 9.5 m pasado P1.

Ejecución del vano 1 y un voladizo de 9.5 m por detrás de P1, con un apoyo intermedio

dividiendo la luz de 36 m del vano 1 en un vano de 12 m y otro de 21 m de luz de celosías (en transversal, 6 parejas de celosías de doble altura).

Fase 2: hasta 9.5 m pasado P2.

Ejecución del vano 2 y un voladizo de 9.5 m por detrás de P2, con un apoyo intermedio dividiendo la luz de 45 m correspondientes al vano 2 en dos vanos de 21 m de luz de celosías (en transversal, 6 parejas de celosías de doble altura).

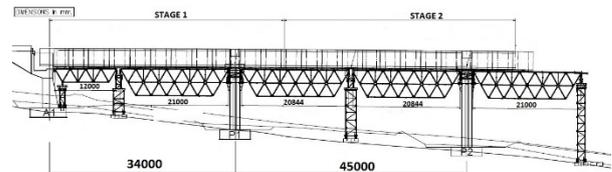


Figura 6: fases 1 y 2 cimbra.



Fase 3: hasta 9.5 m pasado TP1.

Fase 4: hasta 6 m pasado P3.

Ejecución de la segunda mitad del vano 3 (el que se denominó vano 3.2, desde la pila temporal hasta P3), con un apoyo intermedio

(doble) dividiendo la luz de 47.5 m en dos vanos de 21 m de luz de celosías.

En este caso, la fase 4 incluye la dovela cero de P3, es decir, en esta pila debía instalarse un carro de avance que arrancaba hacia P4 para ejecutar en avance en voladizo esta parte del vano 4. Adicionalmente, la existencia del pilono P3, que arranca desde el tablero hacia arriba, suponía un obstáculo para el carro de alas. Por estos motivos, en la zona de P3 la cimbra y el encofrado se diseñaron y fabricaron para ejecutar la sección completa, incluyendo los voladizos y los puntales prefabricados. Además, un poco antes del apoyo intermedio de cimbra comienza el canto variable del tablero, que va desde los 3.5 m de canto constante a los 6.2 m que hay en pila P3. Por ello, en transversal en el primer vano de la cimbra hubo que introducir 2 celosías adicionales, y en el segundo vano 4 celosías adicionales.

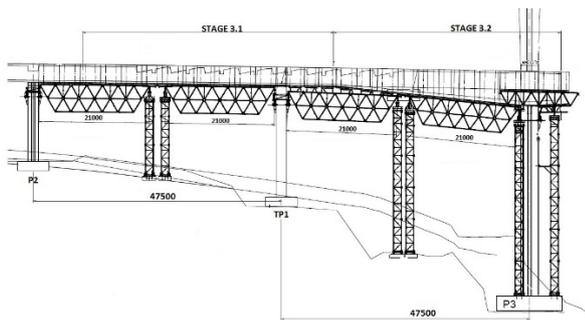


Figura 8: fases 3 y 4 cimbra.

Lado este (fases 5 a 9):

Fase 5: desde 6 m antes de P5 hasta 9.5 m pasado TP2.

Fase 6: hasta 9.5 pasado P6.

Este caso, por simetría, es muy similar a la Fase 3, para ejecutar el vano denominado 6.2. (desde la pila temporal hasta P6)

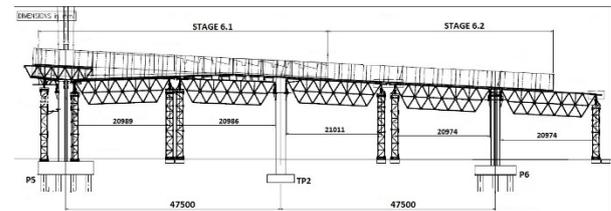


Figura 9: fases 5 y 6 cimbra.



Figura 10: fase 5 cimbra.

Fase 7: hasta 9.5 pasado P7.

Ejecución del vano 7 y un voladizo de 9.5 m por detrás de P7, con dos apoyos intermedios (dobles) dividiendo la luz de 70 m en tres vanos de 21 m de luz de celosías (en transversal, 6 parejas de celosías de doble altura). Ver figura 11.

Este fue uno de los vanos más complejos de ejecutar, ya que debido a su luz, 70 m, mal compensada estructuralmente con el resto de la estructura, la densidad de postesado era especialmente elevada, unido a una alta densidad de armado pasivo. También fue la fase que mayores cantidades de hormigón, armado pasivo y armado activo incluyó, condicionando el plazo y el ciclo de la cimbra.

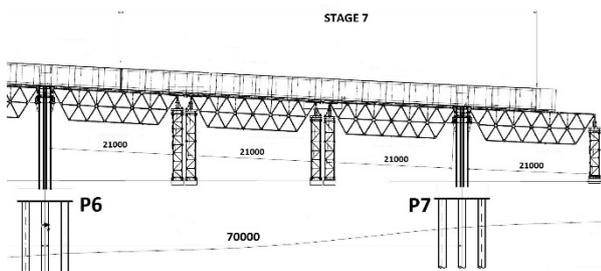


Figura 11: fase 7 cimbra.

Fase 8: hasta 9.5 pasado P8.

Ejecución del vano 8 y un voladizo de 9.5 m por detrás de P8, con un apoyo intermedio (doble) dividiendo la luz de 50 m en dos vanos de 21 m de luz de celosías (en transversal, 6 parejas de celosías de doble altura).

Ejecución del vano 9 hasta el estribo A2, con un apoyo intermedio dividiendo la luz de 36 m en dos vanos de 21 m y 12 m de luz de celosías (en transversal, 6 parejas de celosías de doble altura).

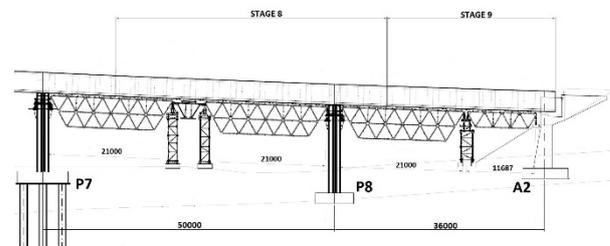


Figura 12: fases 8 y 9 cimbra.



Figura 13: montaje de los barcos de encofrado.

3.1.4. Interacción cimbra - estructura

Debido a las dimensiones de la sección a hormigonar, tanto en longitudinal como en transversal, fue necesario dividir el hormigonado de la sección en diferentes fases. Esto no solo implica la aparición de juntas de construcción dentro de la sección transversal (horizontales), con el cuidado en el tratamiento de las mismas que es necesario para evitar problemas tanto estructurales como de durabilidad, sino que además implica que cuando se realiza el hormigonado de la siguiente fase, la anterior ya haya cogido cierta resistencia y empiece a colaborar desde el punto de vista estructural a soportar las cargas del hormigón fresco de la siguiente fase. Esto hace que sea muy importante analizar de forma conjunta tanto la estructura de cimbra como la estructura que se está ejecutando, con sus rigideces reales, de forma evolutiva, para analizar las distintas fases constructivas y determinar qué acciones es necesario llevar a cabo para evitar problemas tanto en la estructura permanente como en la estructura auxiliar.

Por un lado, si cargamos parte de la sección parcial de hormigón, habrá que verificar los esfuerzos y tensiones resultantes, y determinar si tiene capacidad resistente suficiente sin llegar a fisurar. El análisis es complejo ya que en estas fases se produce un trabajo combinado o interacción entre la estructura de cimbra y la sección de hormigón ya

ejecutada en función de sus rigideces relativas. Dependiendo de la fase, la rigidez de la sección de hormigón podrá tener ya un valor muy significativo haciendo cada vez menos relevante la colaboración de la cimbra (apoyos temporales y celosías). En el caso del Barrow, se llevaron a cabo estos análisis, determinando en cada fase la cantidad estricta de pretensado que era necesario introducir en fases intermedias para evitar la fisuración del hormigón por tensiones de tracción excesivas. El pretensado a introducir en fases intermedias debe minimizarse pues al no introducirse sobre la sección completa pierde cierta efectividad en el comportamiento tensional de la estructura definitiva, lo que puede tener consecuencias especialmente en las comprobaciones de servicio. La introducción de pretensados intermedios también tiene impactos sobre el plazo, pues será necesario esperar a que el hormigón tenga una resistencia mínima (entre 20 y 30 MPa según el caso) antes de poder tesar los tendones seleccionados, dilatando de esta manera el ciclo global de ejecución del tablero.

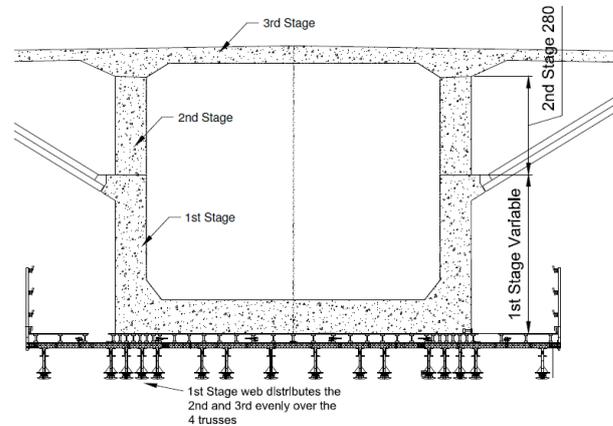


Figura 14: sección transversal zona canto variable. Fases de hormigonado.

3.2 Fase 2: alas.

Con objeto de simplificar la parte ejecutada con la cimbra al suelo, se divide la ejecución del tablero en 2 fases en sentido transversal, ejecutando en segunda fase los voladizos junto con la colocación de los puntales prefabricados. El método empleado para la ejecución de esta segunda fase fue un carro de alas que circulando por el tablero ya ejecutado

iba construyendo los voladizos de forma simétrica en sucesivas puestas, método bastante habitual en este tipo de situaciones, con el que se pueden alcanzar rendimientos importantes siendo independiente de lo que hay debajo del tablero en todo momento.

3.2.1. Descripción general del carro de alas

Se trata de una estructura metálica, capaz de apoyarse sobre el tablero, en la vertical de las almas del cajón que es la parte resistente de la sección, y mediante unas vigas y celosías transversales descuelga los encofrados y los elementos auxiliares necesarios como plataformas de trabajo para poder colocar en posición los puntales prefabricados, y ferrallar y hormigonar in situ la losa superior.

Al estar los accesos dentro de una alineación curva en planta, con radio variable, variación también de la alineación vertical, y tener la losa superior ancho variable en algunas zonas del tablero, el carro debía ser capaz de ajustarse a todas estas variaciones de geometría y dimensión.

Para que fuera un elemento o máquina lo más autónoma posible y optimizar las maniobras tanto de avance como de regulación de los encofrados para poder ajustarse a la geometría de cada puesta, disponía de diversos gatos hidráulicos que permitían maniobrar y ajustar todos los elementos del sistema.



Figura 15: vista aérea del carro de alas.

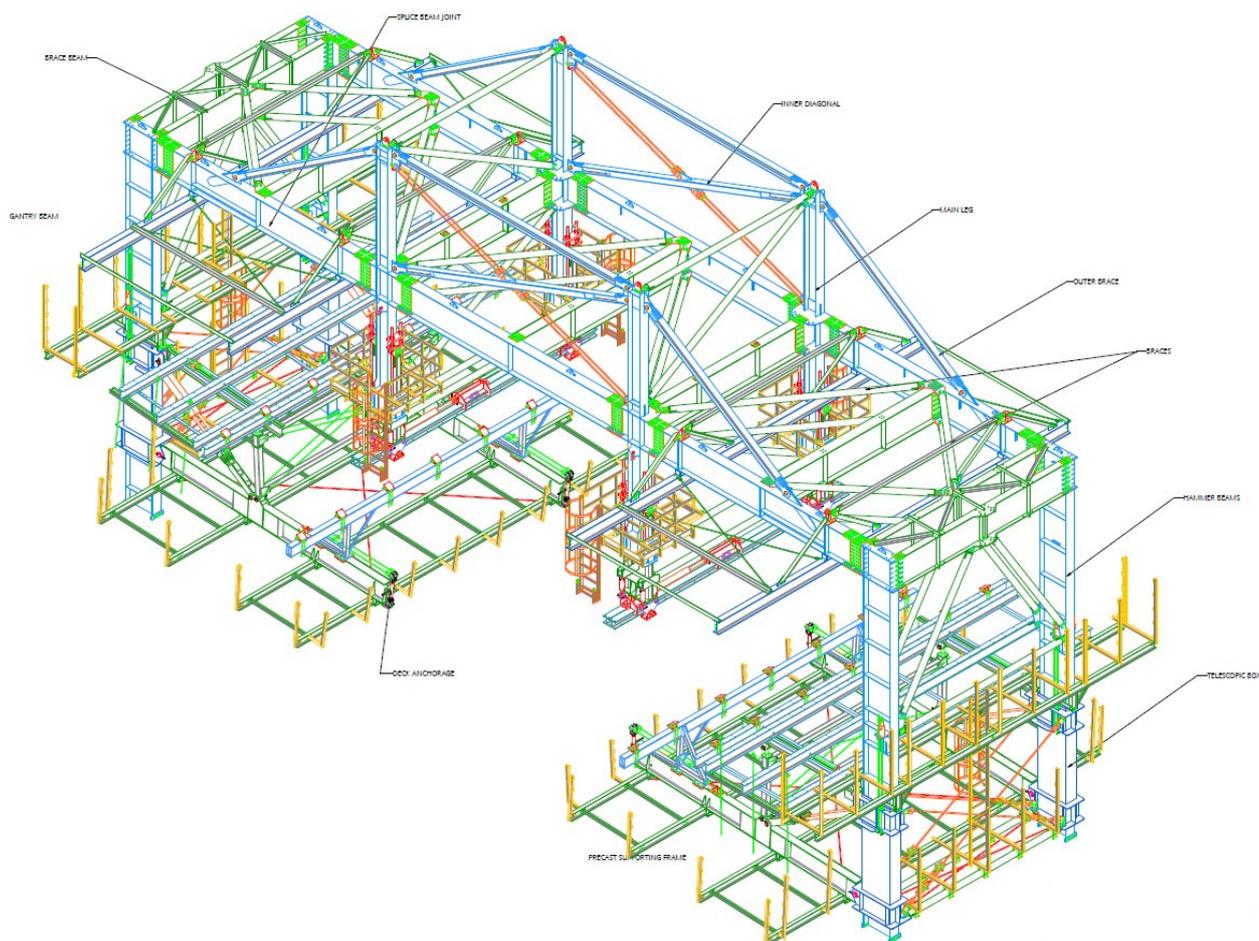


Figura 16: plano 3D del carro de alas.

3.2.2. Fases en longitudinal

Este tipo de elementos auxiliares suelen tener una longitud de entre 12 y 20 m, permitiendo realizar entre 2 y 3 puestas semanales, alcanzando de esta manera rendimientos de ejecución muy importantes. Para determinar la longitud de carro óptima hay que tener en cuenta diversos factores. Por un lado, el rendimiento óptimo posible, y su impacto en el plazo total de construcción del tablero o en otros tajos. Por otro, la geometría del tablero; en este caso teniendo los puntales prefabricados, lo ideal era elegir una longitud múltiplo de la dimensión y/o separación de los dichos puntales. Por último, el peso y el coste del propio carro, pues cuanto mayor sea, mayor será su coste, y mayores los plazos de montaje y desmontaje. Teniendo estos

factores en cuenta, se concluyó que el carro debía tener una longitud de 9.75 metros, teniendo un peso total resultante de 85 t en vacío y 230 t cargado.

3.2.3. Secuencia

Teniendo en cuenta la secuencia de avance de ejecución de la cimbra, de A1 a P3 y luego de P5 a A2, y que el carro de alas diseñado no es compatible con la presencia de los tirantes, la secuencia y el ritmo de avance del carro de alas estuvieron vinculados tanto al tajo precedente, la cimbra, como al posterior, la instalación de los tirantes.

Tras analizar diferentes escenarios posibles, se optó por montar el carro de alas en el estribo A1, donde el acceso era bueno y cómodo y la curva de aprendizaje se suponía más suave, con el condicionante de llegar a P3 y ser desmontado antes de comenzar con la instalación de los tirantes y no producir un parón en esa actividad, que pararía también el carro de avance del tramo extradadosado y por lo tanto generaría un retraso en el plazo de finalización de la estructura. Tras llegar a P3, debía ser

desmontado, trasladado a P5, y desde ahí avanzar hasta llegar a A2, con la condición adicional de abandonar el vano 6 (el de compensación del extradadosado) antes de comenzar con la instalación de tirantes desde P5, no sólo por incompatibilidad de espacio sino también por una condición impuesta por el diseño, según la cual, además, el vano 7 debía estar también completamente ejecutado antes de instalar por encima del 50% de los tirantes de P5.



Figura 17: vista aérea del carro de alas en una de las primeras puestas del lado oeste.

Agradecimientos

En primer lugar, a TII, cliente y adjudicatario, y a Mott McDonald, por depositar la confianza en DRAGADOS para la construcción de un puente record no solo en Irlanda (el de mayor luz) sino a nivel mundial (mayor luz de un puente extradadosado con tablero de hormigón), a ARUP y CFC, de la UTE de diseñadores, por estar dispuestos a trabajar junto con el equipo de obra para optimizar procesos y buscar soluciones constructivas, a ACL y Pondio, responsables de los principales elementos temporales durante la construcción (pilas temporales y cierres

principalmente), así como a todo el equipo de gGravity (Estructuras, Métodos, Materiales, Obras Lineales y Delineación), que se volcó con el proyecto respondiendo a todas las necesidades planteadas desde el equipo de obra.