

MONASTERY BRIDGE – ARCO MIXTO EN DUBLÍN (IRLANDA)

**Santiago PÉREZ-FADÓN
MARTÍNEZ**

Ingeniero de Caminos
FERROVIAL-AGROMAN S.A.
Director Técnico
sp.fadon@ferrovial.es

**José Emilio HERRERO
BENEÍTEZ**

Ingeniero de Caminos
FERROVIAL-AGROMAN S.A.
Jefe Área. Estructuras Obra Civil
j.e.herrero@ferrovial.es

Carlos J. BAJO PAVÍA

Ingeniero de Caminos
FERROVIAL-AGROMAN S.A.
Jefe Dpto. Estructuras Obra Civil
carlos.bajo@ferrovial.es

Jaime GRANELL GUYATT

Ingeniero de Caminos
FERROVIAL-AGROMAN S.A.
jgranell@ferrovial.es

Florencio DEL POZO VINDEL

Dr. Ingeniero de Caminos
PROES Ingenieros Consultores
Director General
fpozo@proes.es

Antonio MADRID RAMOS

Ingeniero de Caminos
PROES Ingenieros Consultores
Director Área Puentes
amadrid@proes.es

Javier PRIETO ORTEGA

Ingeniero de Caminos
PROES Ingenieros Consultores
Director de Proyecto
jprieto@proes.es

Resumen

Formando parte de las actuaciones de ampliación de la autopista M-50 en Dublín, la estructura S04 consiste en un arco mixto que permite cruzar sobre una de las principales vías de acceso a la capital irlandesa, tratándose por tanto de un puente eminentemente urbano.

Dicha estructura consiste en un puente arco, de sección mixta, con de tablero inferior mixto de un solo vano. La longitud total de la plataforma del puente es de 62 metros, con una luz de 60 metros.

El puente es construido in-situ, en una plataforma adyacente al estribo sur, para posteriormente proceder a su lanzamiento mediante carretones automóviles hasta su emplazamiento definitivo. Esta fue la solución adoptada para interrumpir lo menos posible el intenso tráfico de la zona.

En el desarrollo del proyecto y en la construcción del puente se ha puesto de manifiesto las diferencias de planteamiento de la ingeniería entre la cultura española y la irlandesa.

Palabras Clave: Arco, hormigón autocompactante, sección mixta, péndolas, tesado, lanzamiento.



Fig.1.- Perspectiva.

1. Introducción

El rápido crecimiento económico de Irlanda de los últimos años, ha propiciado a su vez, una fuerte inversión en la mejora de sus infraestructuras. Estas mejoras, han traído consigo la adecuación de muchas de las vías de comunicación existentes a los niveles de tráfico actuales, mediante ampliaciones de capacidad, modificación de enlaces existentes y demás medidas.

Dentro de este marco de actuaciones, se encuentran los diversos proyectos para la remodelación de la autovía de circunvalación en Dublín, M-50, de cara a mejorar su nivel de servicio. Dicha autovía, es una de las que mayor intensidad de tráfico diario soporta, presentando además, complicados y congestionados enlaces, con las principales autovías radiales que parten de Dublín hacia otras regiones Irlandesas.

Uno de estos enlaces, el de la M-50 con la N7, ha sido objeto de una laboriosa actuación, que ha permitido la mejora sustancial del tráfico, eliminado los antiguos cruces a nivel, creando un entramado de vías con circulación libre entre ellas ("free flow").

Al Oeste de dicho enlace, y cruzando sobre la N7, se sitúa el puente objeto de este artículo. Dicha estructura, conecta la calle "Monastery Road" que da acceso a una amplia zona residencial, con la estación del tranvía de cercanías, uno de los medios de transporte más usados por los dublineses.



Fig 2.- Situación tras las obras



Fig 3.- Situación anterior

2. Descripción de la estructura.

Se trata de un puente arco de tablero inferior de un solo vano. La longitud total del puente es de 62 metros, con una distancia entre apoyos de 60 metros. El puente consta de dos arcos paralelos independientes, separados transversalmente 14 metros. Los arcos tienen una sección cuasi-rectangular mixta formada por una camisa exterior de acero y hormigón autocompactante en su interior. El tablero es de sección mixta formado por dos vigas artesas longitudinales de acero, conectadas mediante una serie de vigas transversales de acero, con sección doble T variable, y una losa superior de hormigón.

Arco y tablero se encuentran conectados, además de en la sección de arranque, mediante 8 pares de péndolas, formadas por cable cerrado de 63 mm de diámetro. La componente horizontal de la compresión transmitida por los arcos se recoge principalmente con las dos vigas artesas longitudinales.

La estructura apoya sobre 4 pilas-pilotes, formadas cada una de ellas por una pila de sección cuadrada maciza de hormigón de 1,2 m x 1,2 m y un pilote circular de 1,5 m de diámetro.

El diseño de los distintos elementos estructurales así como la unión entre los mismos ha venido condicionada para reducir los cordones de soldadura a realizar debido a la escasa experiencia en puentes de los talleres del país. Además, debido a las restricciones para realizar soldaduras en obra, la conexión de las costillas transversales se realiza mediante tornillos de alta resistencia.

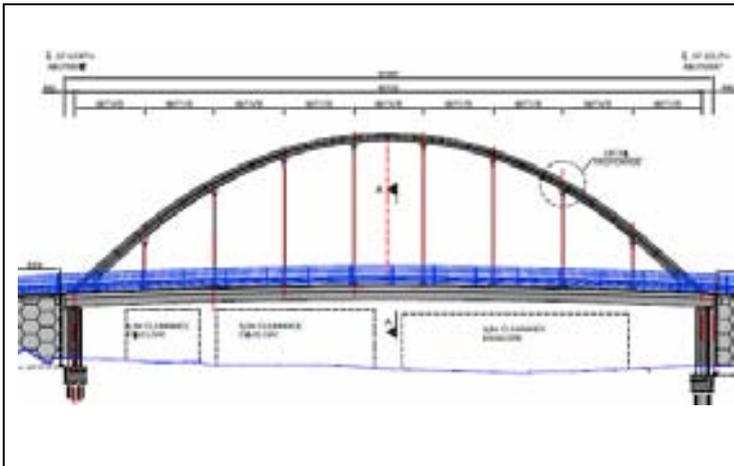


Fig 4.- Alzado.

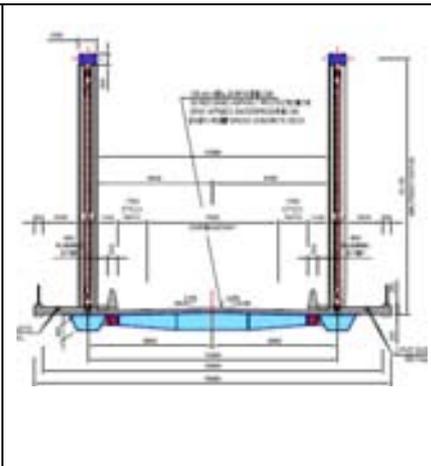


Fig 3.- Sección transversal.

Los parámetros principales del puente son:

Luz	60,1m
Anchura	20 m
Esviaje	0°
Luz / Flecha (arco)	4
Luz / Canto (clave)	92
Luz / Canto (arranques)	60
Luz / canto (tablero)	52
Carriles para vehículos (2)	3,65 m de ancho cada uno
Carril-bici (2)	1,7 m de ancho cada uno
Carril para peatones (2)	2,0 m de ancho cada uno
Pavimento	125 mm de espesor
Vida útil	120 años

3. Elementos estructurales

3.1 Tablero

Se trata de un tablero mixto de acero y hormigón, simplemente apoyado mediante neoprenos, y conectado a los arcos en arranques y mediante 8 pares de péndolas.

La anchura total del tablero son 20 metros, constando la sección transversal, de 2 carriles para vehículos, 2 carriles para bicicletas y dos carriles peatonales en voladizo en los bordes del tablero.

La sección esta formada por dos vigas artesas longitudinales de acero, de 0,9 m de canto y con un intereje de 14 m. Cada 3,34 m, las vigas longitudinales se encuentran arriostradas entre si mediante vigas transversales doble T, de acero y de sección variable. El canto varía de 0,9 m en centro de viga, a 0,6 m en su extremo, mientras que la anchura del ala inferior varía de 0,6 m a 0,4 m, en las mismas posiciones. La conexión de las vigas transversales y las vigas longitudinales se realiza mediante tornillos de alta resistencia. La losa de hormigón tiene un espesor de 0,25 m.

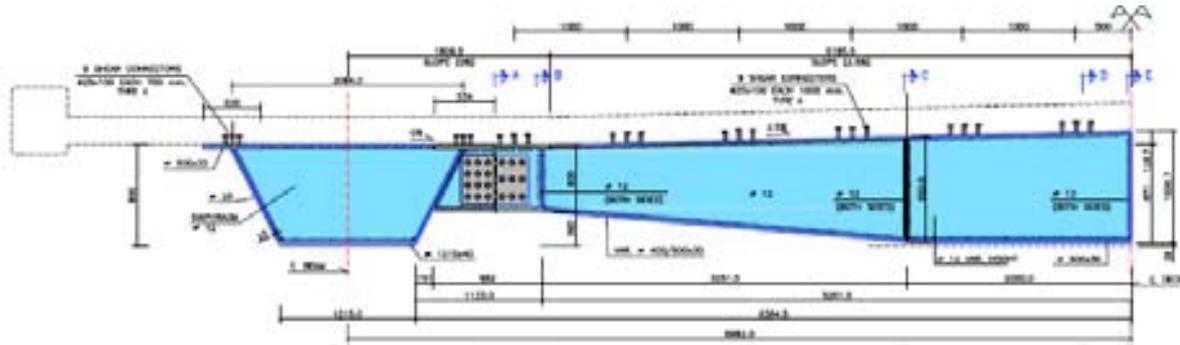


Fig 6.- Semi-sección transversal de tablero..

En aquellas secciones en las que las péndolas se conectan al tablero, existen unos elementos especiales, formados por la orejeta propiamente dicha, y por los elementos de refuerzo necesarios (diafragmas, rigidizadores, etc.) para asegurar una correcta transmisión de cargas entre el cable y la viga longitudinal.

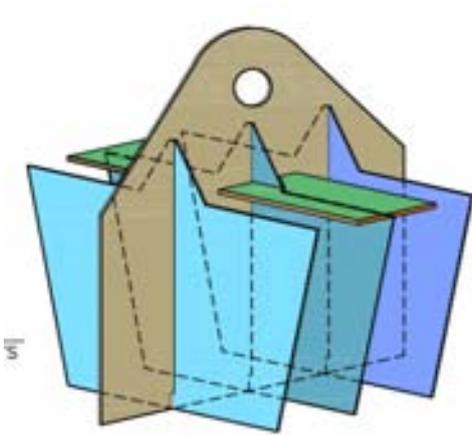


Fig 7.- Esquema de orejeta de tablero.



Fig 8.- Detalle orejeta de tablero.

La riostra transversal en estribos, presenta una configuración diferente al resto de vigas transversales. Consiste en una sección cajón, de 0,9 m. de canto y 1,575 m. de ancho, con doble acción mixta (losa superior e inferior de 0,25 m. de espesor). Esta viga, presenta también una serie de elementos de refuerzo, que permiten absorber las fuerzas temporales que se producen al apoyar el puente en los elementos especiales que permiten trasladar el mismo a su posición definitiva.



Fig 9.- Viga longitudinal y transversal



Fig 10.- Viga transversal en arranques



3.2 Arcos

Los arcos son verticales, no arriostrados entre si, de 60 m de luz, 15 m de flecha y con un intereje de 14 m.

Se trata de tubos cuasi-rectangulares de acero, rellenos de hormigón autocompactante. Esta peculiar forma se compone de dos piezas de chapa plegadas, que se sueldan en sus extremos, para conformar la sección final. La anchura de los arcos es constante a lo largo de la sección, mientras que su canto varía entre 1 m en sección de arranques y 0,65 m en clave. El espesor de la chapa de acero es de 12 mm. Este espesor entraba en contradicción con las especificaciones normativas de las British Standard, en las que se pide un espesor mínimo de 25mm. Para solucionarlo se realizó una solicitud de excepción a la normativa justificando que la rigidez transversal que presenta un panel plegado es superior a los requerimientos especificados en la BS.



Fig 11- Semi-sección de arco en taller

Fig 12.- Montaje de sección de arco en taller

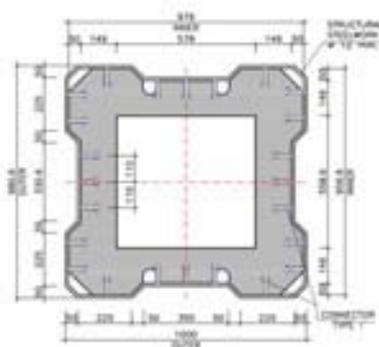


Fig 13- Sección de arco por diafragma

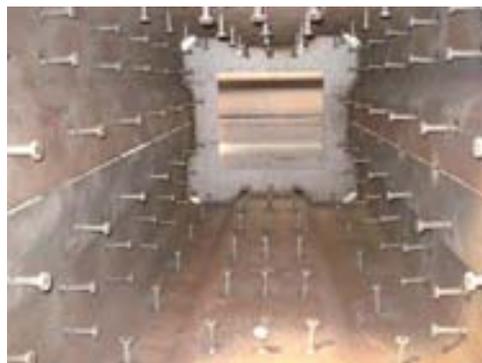


Fig 14.- Montaje de sección de arco en taller

Los arcos presentan diafragmas intermedios para rigidizar el arco en el momento de realizar el hormigonado de cada uno de los módulos. Estos módulos se compartimentan mediante la disposición de diafragmas ciegos que no permitan el paso del hormigón entre un módulo y otro.

La conexión entre péndola y arco, se realiza, al igual que en el tablero, mediante unos elemento especiales, formados por la orejeta y unos diafragmas especialmente diseñados para esta función. Estas orejetas transmiten la carga al hormigón del arco mediante dos mecanismos distintos. La componente perpendicular a la directriz del arco se transmite mediante la orejeta hasta un chapón colocado en la parte superior del arco que transmite la carga por apoyo directo sobre el arco. Adicionalmente, la componente de carga que sigue la directriz del arco se transmite mediante pernos conectadores.

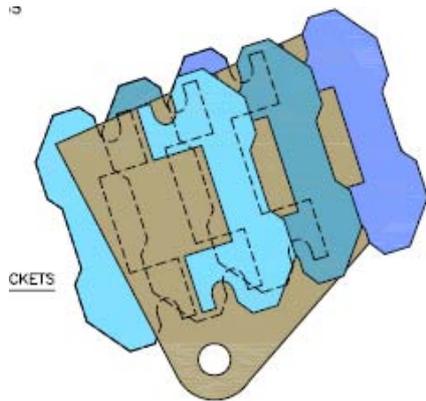


Fig 15- Esquema de detalle orejeta de arco



Fig 16.- Montaje de la orejeta de arco en taller

3.3 Péndolas.

Arcos y tablero se encuentran conectados entre si mediante 8 pares de péndolas, separadas longitudinalmente, 6,68 m entre si.

Cada péndola esta formada por un cable cerrado de 63 mm de diámetro La longitud de los cables es 4,126m, 8,689 m, 11,617 m y 13,065 m, siendo simétricos respecto al centro del arco.

La conexión del cable a la orejeta se realiza mediante unos elementos especiales de conexión. Dichos elementos, son ajustables en la conexión al tablero y fijos en la conexión al arco. El tesado se realiza desde la conexión al tablero.

En el diseño del puente se ha tenido en cuenta la posible sustitución de una de las péndolas, con la mitad del puente abierto al tráfico.

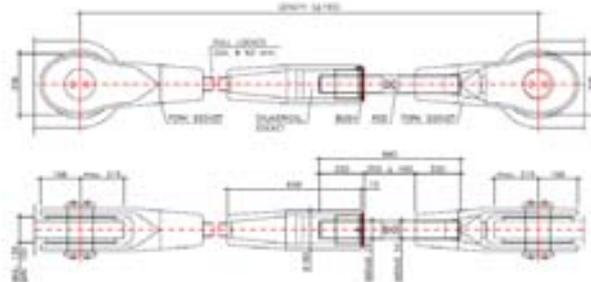


Fig 17- Sistema de sujeción del cable cerrado.

3.4 Pilas-estribos:

El puente apoya en 4 pilas-pilotes. Los pilotes tienen un diámetro de 1,5 m y una longitud de 25 m o 35 m, según se trate del estribo Norte o del estribo Sur, respectivamente. Las pilas son de sección cuadrada maciza de 1,2 m de lado y altura variable entre 6 y 6,5 m. Las caras vistas presentan unos relieves de carácter estético.

Ambos estribos son de tierra armada.

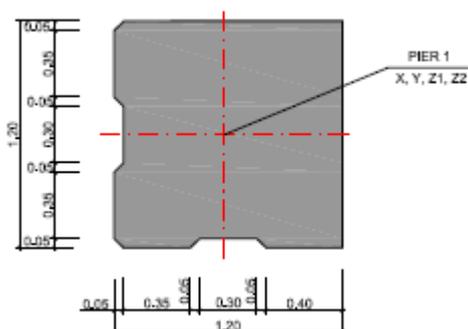


Fig 18- Sección de pilas.

Fig 19- Pila estribo norte in situ

En el estribo sur se acondiciona una plataforma para la construcción del puente, previo a su traslado a la posición definitiva. En dicha plataforma, se disponen dos losas a modo de lanzaderas para los equipos de lanzamiento. También se construyen en ambos estribos unas pilas auxiliares, adyacentes a las pilas en las que apoyará el puente definitivamente. Estas pilas auxiliares, tiene una doble función:

- ambas sirven de apoyo a los equipos de levantamiento para una hipotética sustitución o reparación de los neoprenos durante la vida útil del puente,
- en el estribo sur, además, sirve para elemento de apoyo del equipo de lanzamiento, para lo cual presenta una ménsula en cabeza, que no aparece en el estribo norte.



Fig 20- Construcción del estribo sur y de la plataforma de lanzamiento.

La normativa británica exige un control de cada uno de los elementos que forma el puente para garantizar el buen funcionamiento de los mismos. Para cada uno de los pilotes era necesaria la realización de pruebas de carga dinámicas para garantizar el correcto funcionamiento de la interacción terreno-pilote y estimar de esta manera la carga de hundimiento de los mismos. Finalmente, solo se realizó la prueba dinámica a uno de ellos argumentando técnicamente que las pruebas de integridad realizadas en los pilotes más una prueba de carga final de toda la estructura supone un conocimiento real del comportamiento de la estructura frente al ensayo parcial de cada uno de los componentes estructurales del puente.

4. Proceso constructivo

4.1 Descripción general.

El proceso de montaje final del puente ha sufrido modificaciones respecto a lo inicialmente proyectado. El motivo principal del cambio ha sido la de evitar montar el puente sobre el tráfico existente.

Para evitar dichos cortes, el puente será montado in-situ en una plataforma existente, fuera del emplazamiento definitivo, adyacente al estribo sur, que se adecuará para este fin. Una vez hormigonada la losa y tesadas las péndolas, mediante unos carretones automóbiles especiales en el extremo norte, y unos dispositivos deslizantes en el extremo sur, se procederá a la traslación del puente a su posición definitiva, mediante un solo corte de tráfico (una noche). Posteriormente se realizarán los acabados del puente (pavimento, barreras, barandillas, etc.) sin afectar al tráfico existente.

4.2 Fases de construcción.

4.2.1 Cimentaciones, subestructura y plataforma de lanzamiento.

Mientras se procede en taller, a la fabricación de la estructura metálica, en el emplazamiento del puente, se realizan los trabajos para la construcción de las cimentaciones, las pilas y los elementos auxiliares para el lanzamiento (plataforma, losas, pilas auxiliares, etc.)

4.2.2 Fabricación en taller de la estructura metálica.

Se procede en taller a la fabricación de las vigas longitudinales, vigas transversales, arcos y demás elementos metálicos, todo ello, siguiendo los pliegos contractuales que regulan los aspectos relacionados con la fabricación, las tolerancias y el montaje. El arco se fabrica por segmentos de 2,00m de longitud (Fig.11) como manera de aproximación a la directriz parabólica proyectada.

4.2.3 Traslado de la estructura metálica a obra y ensamblaje..

Cuando las fases anteriores están completadas se procede al traslado de las diferentes piezas y elementos al emplazamiento de la obra donde se ensamblan en la plataforma adecuada para esto. La estructura descansa durante esta fase en unos apoyos provisionales, materializados por torres auxiliares.



Fig 21- Plataforma auxiliar con torres temporales.



Fig 22- Tablero en obra

4.2.4 Hormigonado.

Una vez se encuentra ensamblada la estructura metálica (tablero y arco), se procede al hormigonado del arco. Este se realiza en varias etapas, y para ello, se han dejado una serie de ventanas de hormigonado y diafragmas ciegos en determinadas secciones del arco.

Posteriormente se procede al hormigonado del tablero. Este se realiza sobre una prelosa, que previamente se colocan sobre el tablero. Las prelosas disponen de una celosía formada por barras corrugadas, lo que permite reducir el canto de hormigón a valores mínimos.

El hormigonado del tablero se realiza en dos etapas. Primero se hormigonan los voladizos y la parte correspondiente a las vigas longitudinales, para posteriormente hormigonar el resto de la parte central del tablero, esto es la correspondiente a losa sobre las vigas transversales.



4.2.5 Tesado de cables.

Tras el hormigonado de arco y tablero, se procede al tesado de las péndolas. Los cables de cada arco se tesan independientemente uno de otro. Para cada arco el tesado se realiza de manera simétrica, por pares de péndolas, desde el interior al exterior.

Debido a las contraflechas que se han tenido en cuenta durante el proceso de fabricación, una vez realizado el tesado, el puente queda con la geometría casi definitiva, a falta de la deformación producida por el resto de carga permanente.

Asimismo, se pueden retirar las torres auxiliares, ya que tras el tesado, el puente apoya únicamente en los 4 apoyos temporales para el lanzamiento.

4.2.6 Lanzamiento

El lanzamiento se realiza por la noche, para que el corte de tráfico tenga el menor impacto posible. Con el puente apoyado en el extremo norte en unos carretones especiales de lanzamiento y en el extremo sur en unos dispositivos deslizantes, se procede a su desplazamiento, hasta su posición definitiva, donde se produce la transferencia a los apoyos definitivos.

Para evitar maniobras que puedan complicar la operación, los apoyos provisionales durante el lanzamiento, presentan una excentricidad de 1,1 m respecto a su posición definitiva, hacia el interior de la viga riostra de estribo, convenientemente reforzada para ello. Esto permite una cómoda transferencia de carga a los apoyos finales.

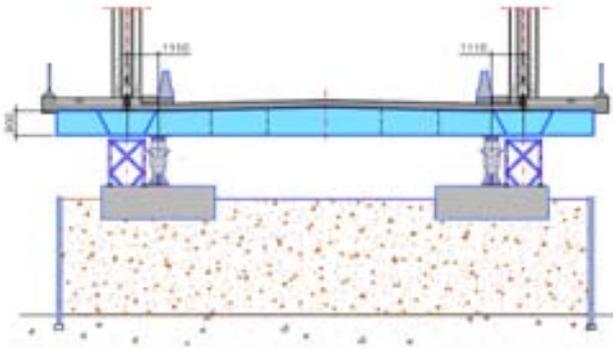


Fig 25- Dispositivos deslizantes estribo Sur

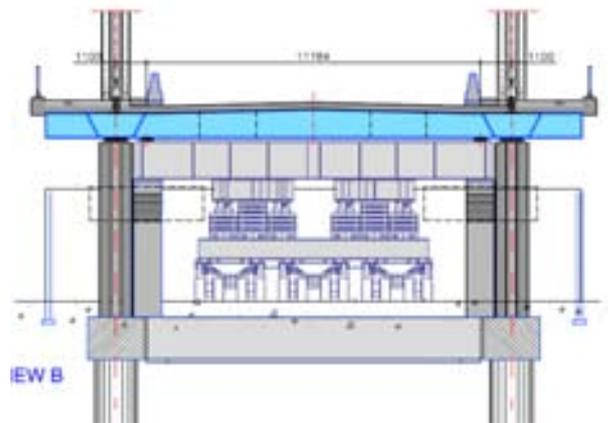


Fig 26- Carretones especiales estribo Norte.

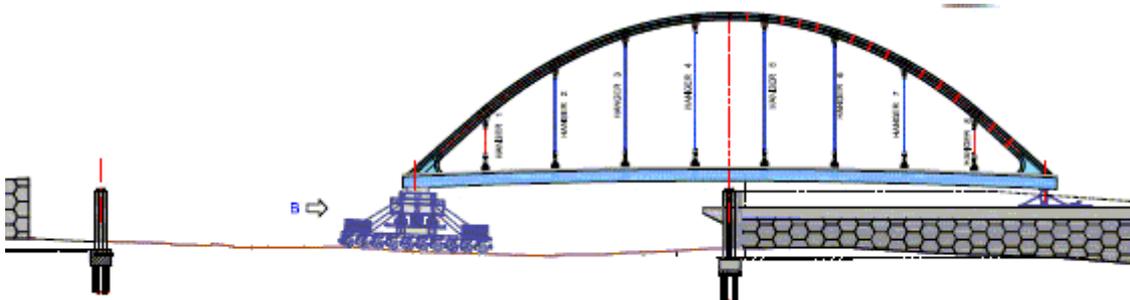


Fig 27- Esquema de lanzamiento

4.2.7 Acabados

Con el puente ya colocado en su posición definitiva, y pudiendo trabajar sobre el mismo, se procede a pavimentar la calzada, colocación de aceras, bordillos, barreras, y demás elementos, como iluminación, señalización, etc.

Cuando se hayan realizados todos estos trabajos se procede a realizar una comprobación de la tensión en las péndolas para confirmar su adecuación a los valores teóricos previstos.

5. Conclusión

Atendiendo a los principales objetivos que requería este proyecto, cabe concluir:

- Se pretendía una estructura "singular" en una de las principales vías de entrada a Dublín. La tipología elegida y una relación flecha/luz cercana a 4, garantiza un arco visible que resalte como escaparate del nuevo enlace.
- Debido a la complejidad de la obra global de este enlace, a la imposibilidad de construirlo in-situ sobre la N7, y a lo reducido del espacio en la obra, la estructura mixta elegida ha permitido una fabricación en taller, para un posterior traslado a obra y ensamblaje en la plataforma adecuada para ello, sin interferir en el resto de actuaciones del enlace. El arco mixto permite reducir el espesor de chapa del mismo, lo cual facilita su manejo y montaje.
- El lanzamiento diseñado para su colocación en la posición definitiva, es el óptimo para evitar complejos cortes de tráfico, reduciendo los mismos a una sola noche. El montaje de la estructura sobre el tráfico supone la necesidad de construir elementos de protección de las torres provisionales frente al choque de vehículos.
- Los procedimientos de control de proyecto y de ejecución están orientados, en algunos países, a minimizar las responsabilidades civiles de cada agente involucrado en la construcción. Lo cual induce, a veces, a decisiones poco ingenieriles que para nada mejoran el resultado final. Por otro lado, se multiplican las actividades burocráticas de los ingenieros, tendiendo a prestar menos atención a los aspectos más estructurales