

# EJECUCIÓN DE LOS VANOS DE CANTO VARIABLE POR AVANCE EN VOLADIZOS SUCESIVOS DEL VIADUCTO DEL RÍO ULLA

## **Miguel ORTEGA CORNEJO**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
IDEAM, S.A.  
Director de Ingeniería  
[miguel.ortega@ideam.es](mailto:miguel.ortega@ideam.es)

## **Rubén A. ESTÉVEZ SANCHEZ**

Ingeniero de Caminos  
Dirección General de Ferrocarriles.  
Ministerio de Fomento  
Director de Obra  
[raestavez@fomento.es](mailto:raestavez@fomento.es)

## **Hugo CORRES PEIRETTI**

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Fhecor, Ingenieros Consultores S.A.  
Presidente  
[hcp@fhecor.es](mailto:hcp@fhecor.es)

## **Jose A. BECERRA MOSQUERA**

Ingeniero de Caminos  
DRAGADOS  
UTE RÍO ULLA  
[jabecerram@dragados.com](mailto:jabecerram@dragados.com)

## **Pedro CHICO LÓPEZ**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
DRAGADOS  
UTE RÍO ULLA  
[pchicol@dragados.com](mailto:pchicol@dragados.com)

## **Julio SÁNCHEZ DELGADO**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Fhecor, Ingenieros Consultores S.A.  
Director Técnico Obra Civil  
[jsd@fhecor.es](mailto:jsd@fhecor.es)

## **RESUMEN**

La singularidad del viaducto del río Ulla de 1620 m de longitud, y las grandes luces de sus tres vanos centrales, con 225+240+225 m, impuestas por los exigentes condicionantes medioambientales, obligaron a concebir, para los 5 vanos principales del viaducto, un proceso de ejecución lo más independiente posible del terreno. Este artículo se centra en la descripción del proceso constructivo empleado para la ejecución de la estructura metálica de estos vanos de canto variable, ejecutados por avance en voladizos sucesivos. Se detalla el proceso de izado compensado de dovelas desde las 4 pilas centrales, el sistema de ensamblaje y fabricación de dovelas, su proceso de transporte hasta la sombra del viaducto, los distintos carros de izado (fijos y móviles) empleados para la ejecución, así como la rigidización auxiliar y el arriostramiento provisional de las dovelas durante el izado.

**PALABRAS CLAVE:** Estructura metálica, celosía mixta, avance en voladizos, canto variable, carros de izado.

## **1. Introducción y breve descripción del viaducto**

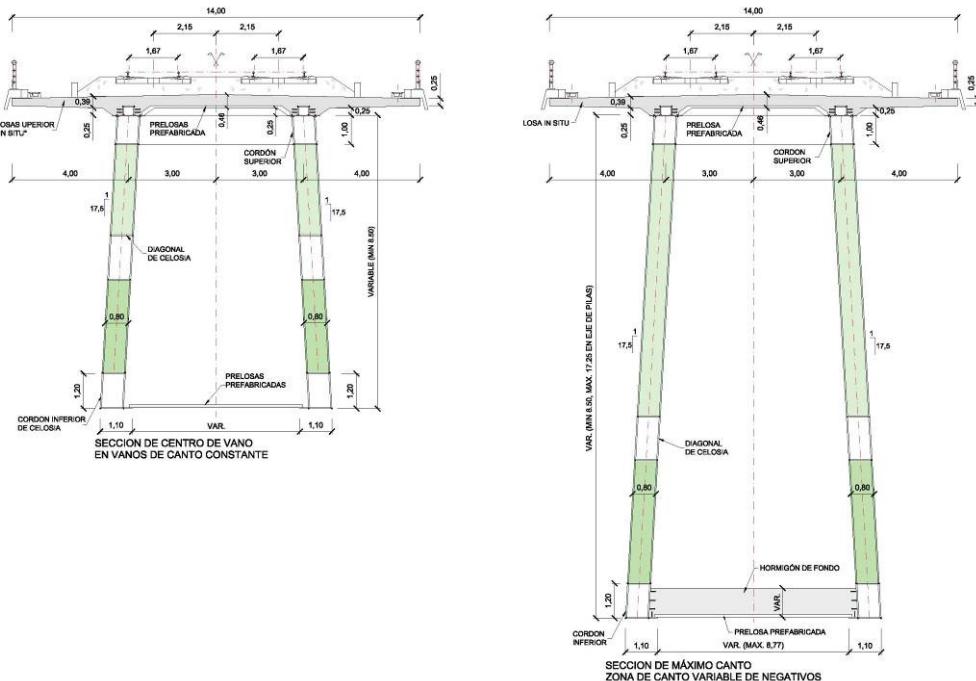
El viaducto sobre el río Ulla en la desembocadura de la ría de Arosa [1], constituye la actuación de mayor alcance, desde el punto de vista estructural, del Eje Atlántico de Alta Velocidad entre Pontevedra y A Coruña.

El viaducto tiene una longitud total de 1620 m con una distribución de luces de 50+80+3x120+225+240+225+3x120+80 metros (Figs. 1a, 1b y 1c).



**Figuras 1a, 1b y 1c. Alzado, fotomontaje y estado de ejecución del Viaducto (Febrero 2014)**

El tablero se proyectó como una celosía mixta de canto variable en los 5 vanos principales (Fig. 2), con 17,90 m de canto sobre apoyos y 9,15 m en centro vano. Los vanos de los viaductos de acceso se proyectan en celosía mixta con un canto constante de 9,15 m.



**Figura 2. Secciones transversales tipo.**

La concepción de los detalles de la estructura metálica del tablero se describe con detalle en la ref. [2], y el desarrollo del sistema de control de calidad implementado que permite la acreditación de la correcta ejecución de este viaducto tan singular, se describe en la ref. [3].

La descripción general de los distintos procesos constructivos empleados en la ejecución del tablero del viaducto se incluye en la ponencia de la ref. [4], y el desarrollo con detalle de los procesos constructivos y los elementos auxiliares empleados en la ejecución de los tramos de los vanos laterales de canto constante, con vanos tipo de 120 m de luz, se realiza en las ponencias [5] y [6] incluidas en el VI congreso de ACHE. Este artículo se centra en la descripción detallada del proceso de ejecución de la estructura metálica de los 5 vanos principales de canto variable, de 120+225+240+225+120 m de luz, ejecutados por avance en voladizos sucesivos entre P-4 y P-9.

## 2. Concepción de la ejecución de los vanos de canto variable por avance en voladizos sucesivos

El proceso constructivo de los 5 vanos centrales del viaducto está condicionado por las limitaciones medioambientales impuestas por la ría. La estructura metálica de los 930 m centrales de canto variable se ejecuta, tal y se concibió en proyecto, mediante el avance por voladizos sucesivos compensados de la estructura metálica desde las 4 pilas centrales (Fig. 3).

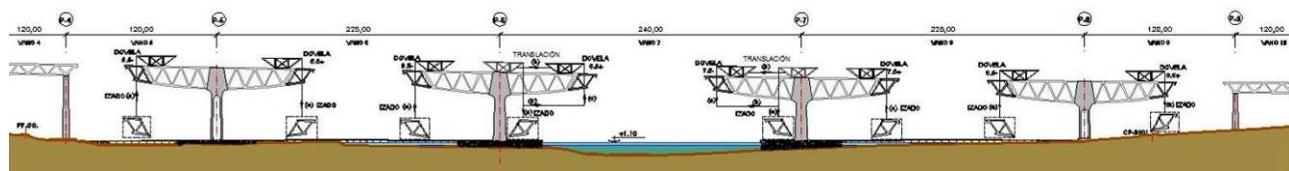


Figura 3. Esquema del avance por voladizos sucesivos en los 5 vanos centrales de canto variable

El singular proceso de ejecución de la estructura metálica de la dovela cero (con forma de W), que queda parcialmente embebida en la cabeza de las 4 pilas centrales (pilas P-5 a P-8), se describe con detalle en la ponencia de la ref. [7]. Las imágenes de la figura 4 muestran el proceso de verticalizado, izado compensado de los 2 cuchillos que conforman dicha dovela, con un peso aproximado de 375 t por cuchillo, y el hormigonado de la cabeza de pila por fases.



Figura 4. Verticalizado, izado de la dovela cero y ejecución de la cabeza de hormigón de P-5

Partiendo de la dovela cero, la estructura metálica a ejecutar por avance en voladizos se divide en dovelas de 15 m de longitud y ancho completo, con un decalaje de 7,5 m entre el extremo del cordón superior y del cordón inferior, para facilitar las labores de ensamblaje en altura. Desde cada pila se ejecutan las siguientes dovelas por avance en voladizos (ver Fig. 5):

- Desde la Pila P-5, se izan 6 dovelas en el vano 5 (PK-) y 6 dovelas en el vano 6 (PK+)
- Desde la Pila P-6, se izan 6 dovelas en el vano 6 (PK-) y 6 dovelas en el vano 7 (PK+)
- Desde la Pila P-7, se izan 7 dovelas en el vano 7 (PK-) y 6 dovelas en el vano 8 (PK+)

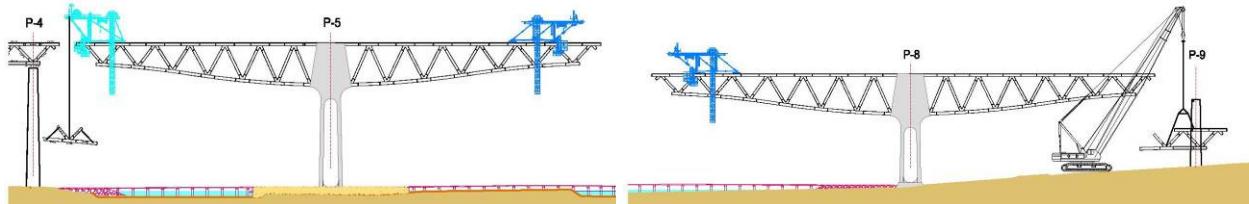
- Desde la Pila P-8, se izan 6 dovelas en el vano 8 (PK-) y 6 dovelas en el vano 9 (PK+).



Figura 5. Esquema de división en dovelas de los 5 vanos de canto variable y carros de izado

Los cierres de los vanos se ejecutan desde:

- Cierre del vano 5, junto a P-4, desde el carro fijo del extremo del voladizo de PK- de P-5 (Fig. 6a).
- Cierre del vano 6, desde el carro fijo del extremo del voladizo de PK- de P-6.
- Cierre del vano 7, desde el carro móvil del extremo del voladizo de PK+ de P-6.
- Cierre del vano 8, desde el carro fijo del extremo del voladizo de PK+ de P-7.
- Cierre del vano 9, junto a P-9, cierre en el lado de PK+ izado desde tierra de una dovela doble mediante el empleo de grúas (Fig. 6b).



Figuras 6a y 6b. Cierre del vano 5 desde carro fijo, y cierre del vano 9 desde tierra con grúa

### 3. Ensamblaje de dovelas en talleres de obra

Las dovelas de canto variable se ensamblan en dos naves de montaje, una de ellas se ubica en las proximidades de la P-4 (Fig. 7a) y ensambla las dovelas del canto variable que se ejecuten desde P-5 y P-6, y la otra se sitúa en las proximidades de la P-9 en la margen derecha (Fig. 7b), en la que se ensamblan las dovelas a ejecutar desde P-8 y P-7.

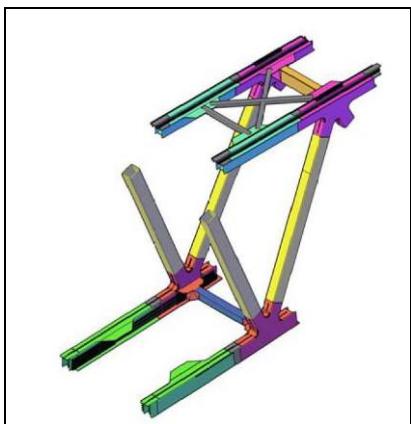


Figuras 7a y 7b. Nave doble para ensamblaje de dovelas junto a P-4 y nave de ensamblaje junto a P-9

Las dovelas tienen canto variable, con una altura máxima próxima a los 17,50 m, 7,10 m de ancho en la parte superior, casi 10 m en la parte inferior, 22,5 m de longitud total desde el extremo frontal del cordón superior al extremo trasero del cordón inferior, y un peso máximo de hasta casi 300 t.

Dadas las grandes dimensiones de las dovelas, por motivos constructivos y de transporte, las dovelas se descomponen en los elementos simples siguientes (Figs. 8a y 9): cordón superior trasero en voladizo, nudo superior frontal, diagonal frontal y diagonal trasera en voladizo, nudo inferior y cordón inferior en voladizo, junto con los montantes y cruces de arriostramiento de nudos y cordones superiores e inferiores. Estos elementos simples, o soldados en subconjuntos de nudo-cordón, se fabrican en los talleres metálicos en origen, ubicados en Asturias, Galicia y Portugal (ver referencias [2] y [3]), y se transportan a los dos talleres de ensamblaje de obra, donde se arman y sueldan conformando cada una de las dovelas completas.

El ensamblaje de dovelas se realiza en cadena con dovelas ejecutadas por pares, de dos en dos, con montajes en blanco físicos cada dos dovelas (Fig. 8b), de forma que se pueda asegurar desde tierra el perfecto ajuste posterior en altura de los dos cordones superiores, las dos diagonales y los dos cordones inferiores de su extremo. Para las uniones de dovelas que no se montan en blanco en los talleres de forma física, se materializa un montaje en blanco virtual por ordenador que permite asegurar la misma precisión y garantía que con los montajes en blanco físicos.



**Figura 8a. Despiece de elementos de una dovela**



**Figura 8b. Dos dovelas montadas en blanco**

El diseño de las dovelas “abiertas” con el nudo superior decalado respecto del nudo inferior, requiere el arriostramiento provisional de los extremos traseros del cordón superior en voladizo, la diagonal volada que parte del nudo inferior y del cordón inferior también en voladizo, que se ha decalado 7,5 m respecto del superior (Figs. 8 y 9).

Este arriostramiento, que se reutiliza para otras dovelas, se componen de un puntal vertical metálico que trabaja a compresión, con la misión de arrostrar el nudo inferior con el cordón superior, y de una diagonal materializada mediante un sistema de cables trenzados de acero, que vinculan el cordón superior volado, con la diagonal, y con el extremo volado del cordón inferior.

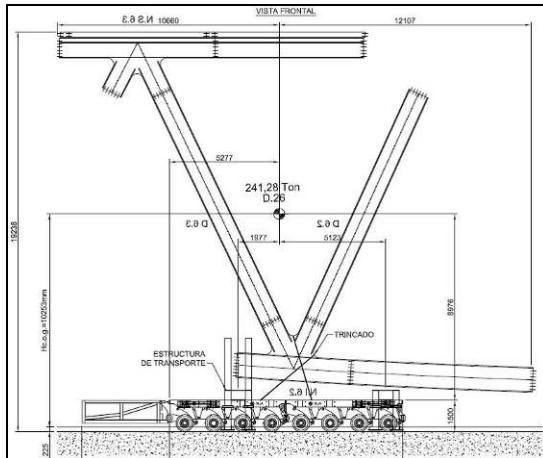
Este sistema, además de permitir el transporte y el izado de la dovela sin que se produzcan deformaciones significativas, permite la regulación de la posición final de los extremos de la diagonal y cordón inferior traseros en voladizo a la hora de realizar el ajuste en geometría previo al soldeo de la dovela con la precedente.

#### 4. Transporte de dovelas para el izado

El transporte de las dovelas de canto variable desde los dos talleres de obra a su posición lista para el izado, se realiza mediante el empleo de unas plataformas autopropulsadas SPMT (Self Propelled Modular Transporter) con dos carros independientes (uno por cuchillo de la dovela) con

32 ejes configurados con 8 líneas y 4 suspensiones por línea. Los carros están operados por la empresa especialista ALE Heavylift Ibérica, colaboradora de la UTE Río Ulla (Fig. 9).

En obra se dispone de plataformas móviles de transporte en las dos márgenes, de forma que el transporte de las dovelas a su ubicación de izado no retrase ninguna operación.



**Figuras 9a y 9b. Transporte de dovelas con plataformas autopropulsadas (esquema e imagen)**

Para facilitar el acceso desde tierra a todas las pilas, permitir la ejecución de las cimentaciones y facilitar el acceso para la ejecución del tablero, se ha ejecutado un pantalán de acceso en la margen izquierda desde P-4 a P-5 y P-6, y desde P-8 hasta P-7 en la margen derecha (ver [8]).

El vano 9 tiene acceso directo por tierra y el pantalán permite el transporte e izado vertical de todas las dovelas de los vanos 5, 6 y 8 (Figs. 3 y 5). El vano central entre P-6 y P-7, es el único tramo ejecutado por avance en voladizos al que no hay acceso por tierra.

Durante la fase de proyecto y al inicio de las obras, se estudió la posibilidad de realizar el transporte de las dovelas de los dos brazos del vano 7 mediante el empleo de barcazas, pero las dificultades técnicas de esa operación recomendaron desechar este proceso. El izado de las dovelas del tramo central sobre la ría se resuelve mediante el empleo de carros de izado móviles (en el brazo de PK+ de P-6 y en el brazo de PK- de P-7), que recogen e izan parcialmente las dovelas en la base de pila, y posteriormente trasladan las dovelas por el aire hasta su ubicación en el extremo del voladizo, y finalizar el izado completo (Fig. 3) como se describe más adelante.

Mediante este proceso constructivo, los vanos de canto variable se independizan del terreno inferior, sin afectar al cauce principal, a las marismas ni a la vegetación de ribera, condicionantes de obligado cumplimiento a respetar desde las bases del concurso del proyecto.

## 5. Carros de izado de dovelas

La ejecución del tablero se realiza mediante el avance simultáneo compensado por voladizos desde dos pilas, primero desde P-5 y P-8, y posteriormente desde las pilas centrales P-6 y P-7, para lo cual ha sido necesario diseñar y fabricar 4 carros de izado, dos de los cuales son fijos y otros dos móviles, sobre los que se disponen un sistema de izado con dos gatos hidráulicos.

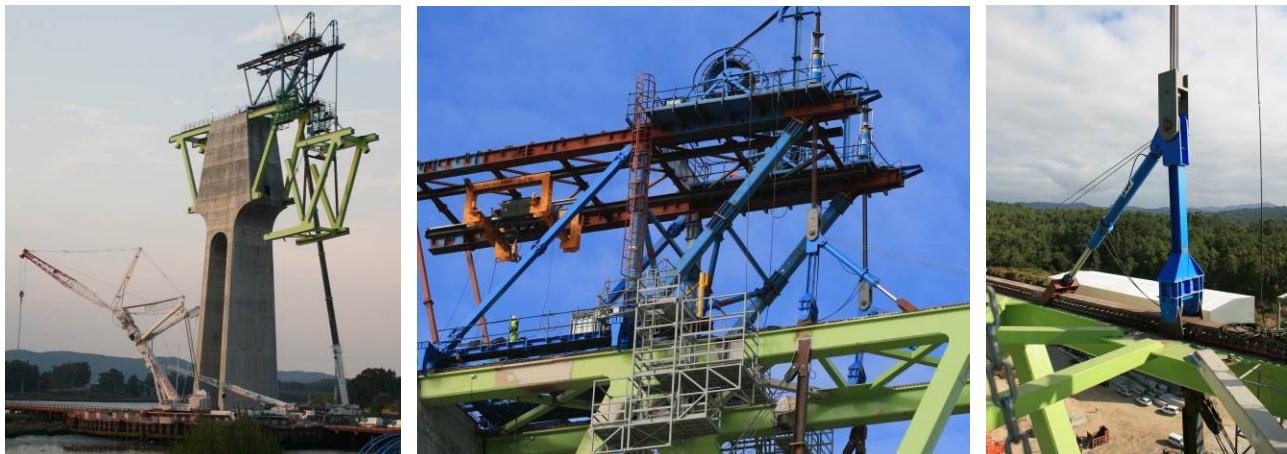
Los carros fijos se denominan así porque la operación de izado de una dovela se realiza en posición fija anclada al tablero y, por lo tanto, el movimiento de avance, una vez que la dovela izada se ha soldado a la anterior, se realiza con el carro descargado soportando sólo su peso propio.

Los carros móviles se denominan así porque son capaces de recoger una dovela en la base de la pila, izarla parcialmente, trasladarla por el aire hasta su ubicación final en el extremo del voladizo, e izarla hasta su posición final para el soldeo con la anterior.

Dado que, para la ejecución del tramo central entre P-6 y P-7, son necesarios dos carros móviles, para el proceso de ejecución por avance en voladizos, se han diseñado dos carros fijos y dos móviles.

En la ejecución del avance por voladizos de las pilas P-5 y P-8, dado que hay acceso en todos los tramos por tierra o por el pantalán provisional, los carros móviles se emplean como carros fijos, izando todas las dovelas en vertical con los carros anclados al tablero, y sin necesidad de realizar la compleja operación de traslación de una dovela parcialmente izada, operación que sí será necesario realizar en los dos brazos del avance por voladizos entre P-6 y P-7.

El desplazamiento de los carros sobre la celosía se realiza por medio de gatos hidráulicos que inducen el movimiento del conjunto sobre patines de deslizamiento que deslizan sobre carriles dispuestos sobre la cabeza del cordón superior de la celosía. Para disminuir el rozamiento entre los patines y carriles se colocan apoyos de neopreno-teflón lubricados. Las maniobras de desplazamiento de carros e izado de dovelas son operadas por la empresa especialista VSL Construction Systems colaboradora de la UTE Río Ulla.

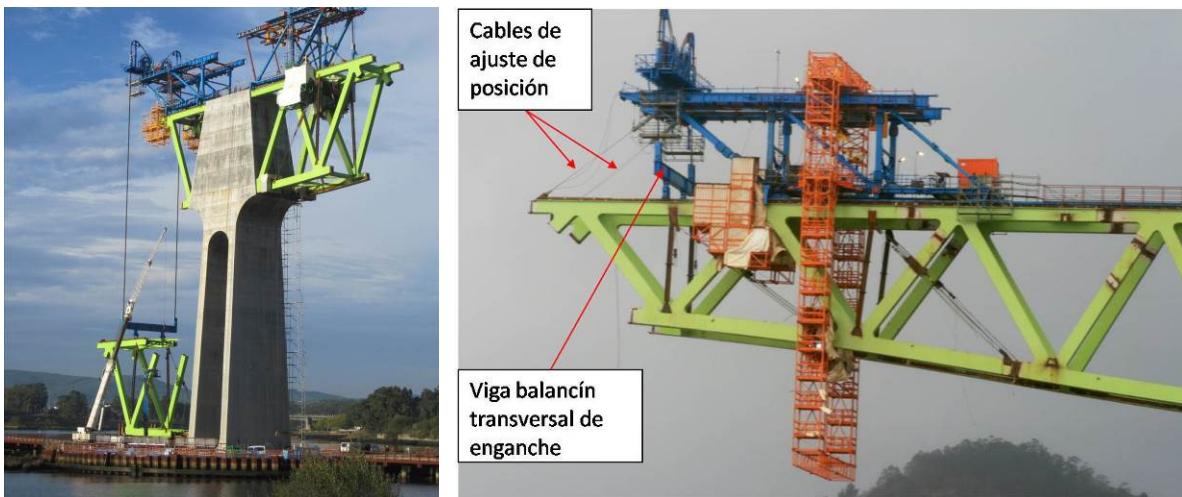


**Figuras 10a, 10b y 10c. Izado de una dovela desde carro fijo y detalles de balancín de ajuste**

Los carros fijos disponen los gatos de izado dispuestos en la vertical sobre los cuchillos de la dovela (Fig. 10a), donde se colocan las orejetas de izado, coincidiendo sensiblemente con la posición del centro de gravedad de la dovela. Para permitir el posterior ajuste en posición de la dovela, una vez izada, se ha diseñado un balancín con un gato inclinado (Figs. 10b y 10c), enganchado a las orejetas de ajuste, dispuestas en posición más avanzada, de forma que cuando el gato de ajuste se abre, la dovela pivota acercando el cordón inferior a su posición, y si el gato cierra el pistón, pivota en sentido contrario, alejando la posición del cordón inferior.

La principal diferencia de los carros móviles con los fijos es que, para permitir el transporte de las dovelas parcialmente izadas, los gatos y cables de izado no pueden disponerse en la misma vertical que las orejetas de enganche en la dovela, dispuestas sobre los cordones superiores, haciendo necesario abrirlos por fuera sobre una viga transversal ubicada sobre el carro, y disponer de una viga balancín transversal de enganche entre la dovela y los cables de izado (Figs. 11a y 11b). Para permitir el correcto ajuste en posición de la dovela, una vez que se sitúa en cota,

se dispone de unos cables de enganche a unas orejetas ubicadas en el extremo de la dovela, que permiten corregir ligeramente la posición para el soldeo.



**Figuras 11a y 11b. Izado de una dovela desde carro móvil y detalles de viga balancín y cables de ajuste de posición**

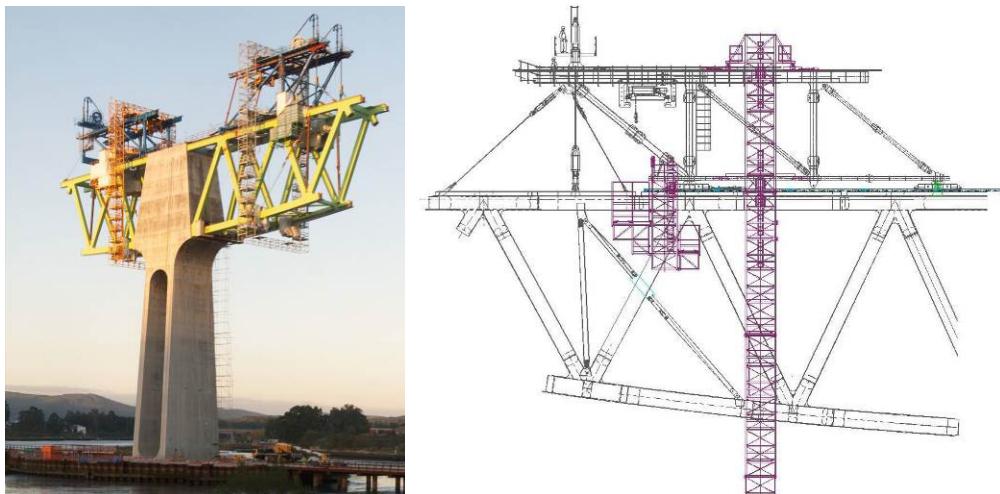
Los dos tipos de carros, tanto el fijo como el móvil, están dotadas de puentes grúa que facilitan la subida y bajada de pequeños materiales, herramientas y desechos así como el desmontaje parcial de las plataformas de soldeo y los elementos de rigidización provisional. Además de los puentes grúa, los carros disponen de polipastos en ambos laterales que facilitan el acarreo de pequeños materiales a los cordones inferiores. En la parte inferior de los pórticos, existen zonas transitables cubiertas de tramex y chapa lagrimada habilitadas para almacenar material, herramienta, etc.

La alimentación eléctrica de centrales hidráulicas, puentes grúa, polipastos, alumbrado y maquinaria de soldadura se realiza por medio de líneas eléctricas provisionales tendidas desde los diversos centros de transformación hasta la base de las pilas, desde donde ascienden grapadas a las mismas y llegan por la celosía metálica hasta cada pórtico de izado.

## 6. Posicionamiento definitivo y soldadura en altura

Cuando las dovelas se aproximan a su posición, se verifica mediante topografía su correcto posicionamiento en su ubicación definitiva, para proceder a la soldadura en altura de la pieza izada con la precedente. Durante el proceso de posicionamiento se actúa sobre los gatos de izado, y del balancín de ajuste (en los carros fijos) o en los gatos de tensión de los cables de rigidización (en los carros móviles), además se utilizan, en caso necesario, trácteles o gatos manuales de aproximación.

Tanto los trabajos de acople como los trabajos de soldadura en altura se realizan desde unas plataformas de soldeo protegidas del aire y la lluvia diseñadas específicamente para este fin. Cada carro dispone de 4 plataformas de soldeo: dos delanteras y dos traseras, las plataformas delanteras habilitan el acceso para el acople y soldadura de los cordones superiores, diagonales y arriostramientos superiores (Figs. 12). Por su parte las plataformas traseras disponen de movilidad longitudinal y regulación en altura, facilitando el acceso a los cordones y arriostramientos inferiores a distinta cota según varía el canto del tablero.



**Figuras 12. Vista y esquema de plataformas de acceso con zonas protegidas para el soldeo.**

Las plataformas delanteras de soldeo disponen de partes desmontables interiores que deben ser montadas para acceder a la cara interior de los cordones y desmontadas para posibilitar el avance del pórtico. Las plataformas de soldeo traseras sirven a su vez para la retirada de la rigidización provisional durante el avance de los pórticos.

A grandes rasgos, la secuencia del proceso una vez posicionado la dovela izada es la siguiente: montaje de las partes interiores de las plataformas delanteras, acople y soldadura del cordón superior y arriostramiento superior, acople y soldadura del cordón inferior y diagonal, cambio de posición de plataformas de soldeo traseras, acople y soldadura de arriostramiento inferior y cabeza superior del cordón superior, desmontaje parcial de las plataformas de soldeo delanteras, y finalmente desenganche de la dovela izada y avance del carro para nuevo izado.

En altura se suelda con soldadura tipo FCAW (Flux-core darc welding), con soldadura protegida por arco eléctrico bajo gas protector activo con electrodo consumible formado por hilo hueco y fundente en su interior.



**Figuras 13. Útil retráctil transversal para la retirada de elementos de arriostramiento**

Los conjuntos de rigidización de dovelas se reutilizan para la rigidización de dovelas posteriores, una vez que ésta ha sido completamente soldada en altura. Para la bajada de los elementos (puntales, cables y orejetas) se utiliza la ayuda de un útil retráctil específicamente diseñado al efecto (Fig. 13). El proceso es el siguiente: en primer lugar se embulona el útil retráctil a los dos puntales verticales, seguidamente se desmontan las uniones superior e inferior de los puntales, a continuación se desplazan las plataformas de soldeo y se actúa sobre las uniones de los cables

rigidizadores, por último se acciona el útil retráctil que posiciona en el centro de la dovela todo el conjunto de rigidización y se hace descender al pantalán con el puente grúa.

## 7. Principales participantes en el proyecto y obra

**Propiedad:** Dirección General de Ferrocarriles. Ministerio de Fomento / ADIF

**Dirección de Obra:** Dirección General de Ferrocarriles. Ministerio de Fomento / ADIF

D. Rubén Estévez (Director de Obra)

**Constructora:** UTE río Ulla. Dragados, S.A.-TECSA Empresa Constructora S.A.

**Entidad de Control del Contratista:** AMT

**Talleres Metálicos:** Ascamón-Joama / Martifer / Emesa / Dizmar

**Empresas especialistas** colaboradoras de la UTE río Ulla: VSL Construction Systems, ALE Heavylift Ibérica

**Proyecto de la Estructura:** IDEAM S.A.: F. Millanes, L. Matute, M. Ortega, C. Gordo.

**Asesoría especializada en estructuras a la D.O.:** IDEAM S.A.: F. Millanes, M. Ortega, P. Atanasio, A. Sanchez, J. L. Mansilla, J. Ugarte, C. Gordo.

**Asistencia Técnica a la Dirección de Obra:** TYPSCA.

**Entidad de Control de la Dirección de Obra:** Applus.

**Apoyo Técnico a la Constructora:** Servicios Técnicos de Dragados y Fhecor

## 8. Referencias

- [1] MILLANES F., MATUTE L., ORTEGA M., GORDO C. "El viaducto sobre el río Ulla en el eje Atlántico de Alta Velocidad: una celosía mixta de 240 m de luz". *V Congreso ACHE*. Barcelona. Oct- 2011.
- [2] MILLANES F., ORTEGA M., ATANASIO P., MANSILLA J.L., MOURIÑO D. "Concepción de los detalles de la estructura metálica del viaducto del río Ulla". *VI Congreso ACHE*. Madrid. Jun-2014.
- [3] ESTÉVEZ R.A., MILLANES F., ORTEGA M., FERRANDIS A. "Nuevos planteamientos en el control de la ejecución de puentes metálicos: el viaducto mixto sobre el río Ulla". *V Congreso ACHE*. Barcelona. Oct- 2011.
- [4] ESTÉVEZ R.A., MILLANES F., ORTEGA M., LÓPEZ S. "Descripción general del proceso constructivo del tablero del viaducto sobre el río Ulla". *VI Congreso ACHE*. Madrid. Jun-2014.
- [5] LÓPEZ S., TARQUIS F., MOURIÑO D., SANCHEZ J., ESTÉVEZ R.A., ORTEGA M. "Ejecución de los vanos de acceso del viaducto del río Ulla de la margen izquierda mediante lanzamiento". *VI Congreso ACHE*. Madrid. Jun- 2014.
- [6] MOURIÑO D., LÓPEZ S., SANCHEZ J., TARQUIS F., ESTÉVEZ R.A., ORTEGA M. "Izado de los vanos de acceso de la margen derecha del viaducto del río Ulla". *VI Congreso ACHE*. Madrid. Jun- 2014.
- [7] SANCHEZ J., CORRES H., MOURIÑO D., ESTÉVEZ R.A., ORTEGA M., BECERRA J.A. "Fabricación e izado de las dovelas de arranque de los vanos principales del viaducto para el FFCC del río Ulla". *VI Congreso ACHE*. Madrid. Jun- 2014.
- [8] LÓPEZ S., MUÑOZ I., TARQUIS F., MILLANES F., ORTEGA M., ESTÉVEZ R., BURBANO G. "Ejecución de las cimentaciones del viaducto del río Ulla en la ría de Arosa". *V Congreso ACHE*. Barcelona. Oct- 2011.