

EL VIADUCTO SOBRE EL RÍO ULLA EN EL EJE ATLÁNTICO DE ALTA VELOCIDAD: UNA CELOSÍA MIXTA DE 240 M DE LUZ

Francisco MILLANES MATO

Dr. Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Presidente

general@ideam.es

Miguel ORTEGA CORNEJO

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Jefe de Proyectos

miguel.ortega@ideam.es

Luis MATUTE RUBIO

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Director General

luis.matute@ideam.es

Carlos GORDO MONSÓ

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Ingeniero Projectista

carlos.gordo@ideam.es

RESUMEN

El viaducto mixto sobre el río Ulla, en construcción desde inicios de 2009, constituye la actuación de mayor alcance del Eje Atlántico de Alta Velocidad. Su ubicación, próxima al estuario de la ría de Arosa, en un entorno natural de extraordinaria belleza, obligó a una solución estructural singular, cuidando mucho la integración en el entorno, reduciendo el número de pilas en el cauce, y buscando procesos constructivos de la máxima independencia posible del cauce y de sus riberas. Estos condicionantes orientaron la solución hacia una celosía mixta de canto variable, con doble acción mixta en las zonas de flexión negativa, tres vanos principales de 225+240+225 metros de luz y varios vanos tipo de acceso de 120 m de luz, lo que supone un vano principal con una luz un 20% aproximadamente superior al actual record del mundo de su tipología, el puente de Nautenbach, en Alemania, con un único vano central de 208 m de luz.

PALABRAS CLAVE: Viaducto mixto, Alta Velocidad, celosía, doble acción mixta.

1. Introducción.

El viaducto sobre el río Ulla [1] en la desembocadura de la ría de Arosa, constituye la actuación de mayor alcance del Eje Atlántico de Alta Velocidad entre Pontevedra y A Coruña. El viaducto, adjudicado a la UTE Río Ulla (Dragados-Tecsa), se encuentra en construcción desde finales de 2008, y está previsto concluirlo a finales de 2012/inicios de 2013. Su ubicación, próxima al estuario de la ría de Arosa, en un entorno natural de extraordinaria belleza y sometido a especiales condicionantes medioambientales, aconsejó la convocatoria de un concurso de ideas. La solución presentada por IDEAM, que se describe con detalle en los apartados siguientes, fue finalmente la seleccionada. El proyecto se orientó fundamentalmente a dar respuesta a la siguiente problemática:

- la importancia asignada a las cualidades estéticas de la solución y a su integración medioambiental en el entorno;
- la reducción del número de pilas ubicadas en el cauce, siempre dentro de los condicionantes técnicos de los viaductos de alta velocidad y de unos costes de ejecución asumibles;

- el planteamiento de procesos constructivos de la máxima independencia posible del cauce y de sus riberas, con objeto de minimizar su afección medioambiental;
- la búsqueda de la máxima transparencia y mínimo impacto visual en el entorno paisajístico.

Los citados condicionantes orientaron nuestra propuesta hacia una celosía mixta de canto variable, con doble acción mixta en las zonas de flexión negativa, tres grandes vanos principales de 225+240+225 metros de luz y varios vanos tipo de acceso de 120 m de luz, lo que supone un vano principal con una luz un 20% aproximadamente superior al actual record del mundo de su tipología, el puente de Nautenbach (Fig. 1), sobre el río Main, en Alemania, con un único vano central de 208 m de luz y dos vanos laterales cortos de compensación.



Figuras 1a y 1b. Vistas del Viaducto sobre el río Main en Nantenbach, Alemania.

2. El concepto estructural.

El tablero se proyecta 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. Vista del Viaducto sobre el río Ulla

Las cuatro pilas centrales, de cuidado diseño en forma de copa, se hallan rígidamente vinculadas a la celosía mixta del tablero, configurando unos pórticos mixtos con la suficiente rigidez en los tres vanos centrales, de luz superior a los 220,00 metros (Figs. 3 y 4), para hacer frente a las exigencias de deformación de la alta velocidad bajo la acción de sobrecargas actuando sobre vanos alternos [2].

Las 2 pilas laterales P-5 y P-8 (Figura 4b) se proyectan flexibilizando su respuesta frente a desplazamientos impuestos por los efectos térmicos y reológicos del tablero, al mismo tiempo que se garantiza la suficiente rigidez al giro del nudo superior bajo las citadas sobrecargas alternas. Para ello se disponen dos tabiques pantalla macizos, de 1,50 m de canto, empotrados en sendos extremos en el tablero y la cimentación.



Figura 3. Vista lateral del vano principal del Viaducto sobre el río Ulla

El diseño estructural puso especial énfasis en la integración formal y geométrica entre los fustes de hormigón y el tablero en celosía mixta. La importante variación del canto del tablero entre centro de vano y apoyo en pilas se materializa a través de una suave transición a lo largo del vano, con una concavidad hacia arriba en la zona de entronque con las pilas en forma de copa, lo que ayuda a conseguir una suave integración visual con el cauce del río Ulla, sobre el que parece flotar. La elección de los colores, gris perla en los hormigones y verde claro en la celosía metálica, acentúa dicho efecto.

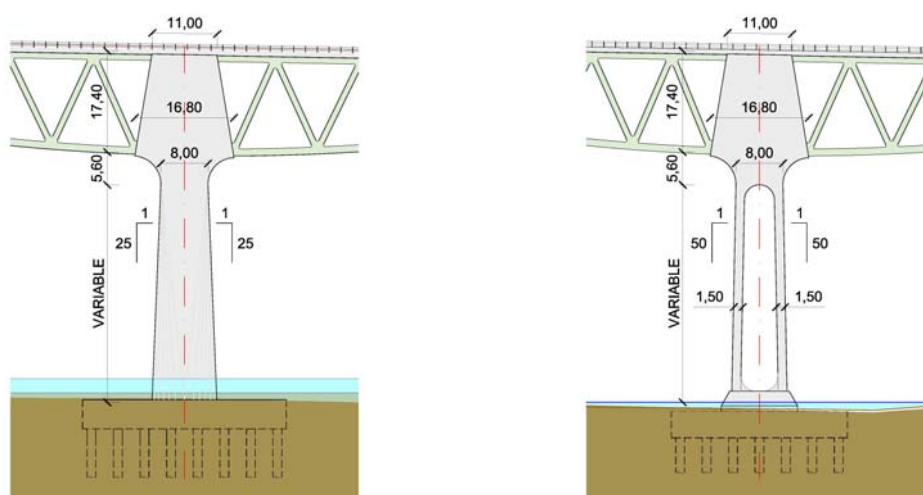


Figura 4a y 4b. Vista de las pilas centrales (P-6 y P-7) y laterales (P-5 y P-8)

3. Descripción del Viaducto.

El viaducto tiene una longitud total de 1620 m con una distribución de luces de 50+80+3x120+225+240+225+3x120+80 metros (Fig. 5).

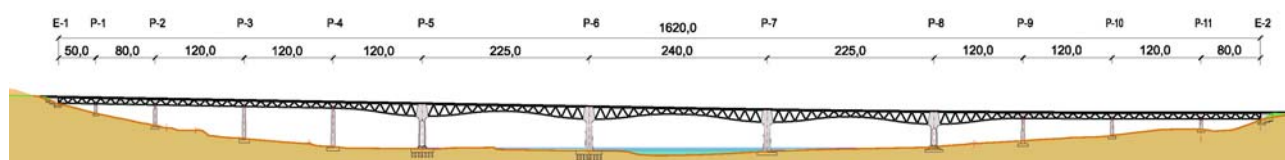


Figura 5. Alzado del Viaducto.

La celosía se modula en segmentos de 15 m con los nudos del cordón superior separados en transversal 6 m y las diagonales inclinadas en la zona de canto constante unos 45° respecto de la horizontal. Los cordones superior e inferior son paralelogramos formados por chapas de acero, con 0,80 m de ancho y cantos de 1,00 m y 1,20 m, respectivamente. Las diagonales tienen una sección similar a la del cordón superior.

Los cordones superiores presentan, soldada a su ala superior, una cabeza superior cerrada adicional, embebida en la losa de hormigón, a la que se sueldan los conectadores, lo que permite aproximar el eje de transferencia de la conexión al baricentro de la losa superior, reduciendo así las flexiones parásitas por excentricidad en la citada conexión (Fig. 6).

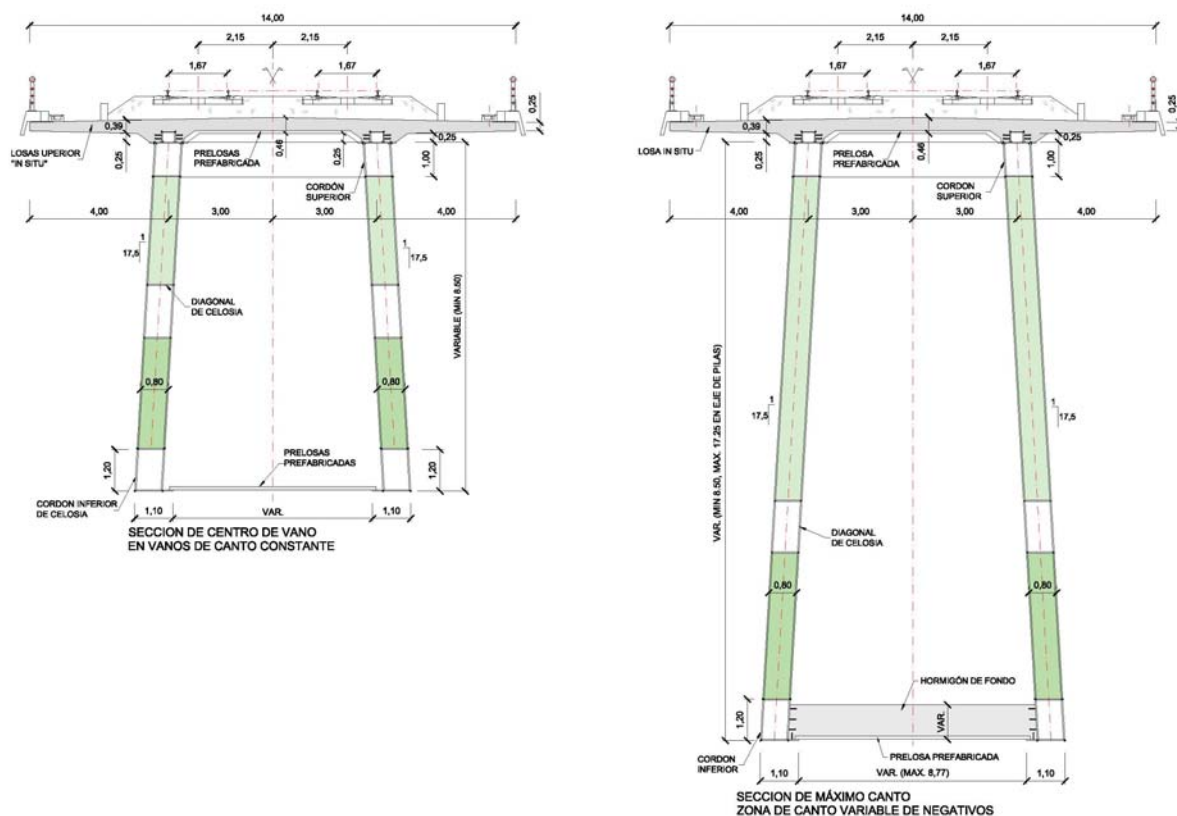


Figura 6. Secciones transversales tipo.

El acero utilizado es de calidad S355-J2+N y S355-K2+N (para chapas superiores a 60 mm) para los vanos de acceso y de calidad termomecánica S-460-M y S-460-ML (para chapas superiores a 65 mm) en los tres vanos centrales de canto variable y mayor luz.

La losa superior tiene un canto variable entre 0,46 y 0,25 m. El hormigón in situ, HA-35, se ejecuta sobre losas prefabricadas colaborantes isostáticas en la zona entre celosías. Las zonas voladas se hormigonan en segunda fase mediante carros de encofrado.

El hormigón de fondo, HA-50, se ubica entre los cordones metálicos inferiores de la celosía, conectándose a los mismos para materializar la doble acción mixta en las zonas sometidas a flexión negativa. En las zonas de centro de vano se disponen unas placas de hormigón prefabricadas sin conectar que, al mismo tiempo que cierran formalmente la vista inferior de la estructura, garantizan y facilitan las tareas de inspección y mantenimiento, así como la seguridad de los trabajos de montaje de la estructura.

Las cuatro pilas centrales se empotran rígidamente en las celosías del tablero (Figs. 4a y 4b), conformando un pórtico mixto de gran rigidez que asegura la recogida de los esfuerzos horizontales de frenado. Los fustes, con forma de cáliz, se coronan en su entronque con el tablero, a través de un nudo trapezoidal de 17 m de altura, anchura variable entre 11 y 16 m y una sección de garganta de 8 m de ancho. La altura total del fuste de las pilas es de 60 m respecto a la cara superior de la cimentación.

La rigidez de las pilas principales se optimizó de forma que, al mismo tiempo que confieren la necesaria coacción a las rotaciones en los nudos de apoyo del tablero, controlan el nivel de flexiones que, a través del efecto pórtico, se transmiten a la cimentación, evitando su sobredimensionamiento.

Por ello, las pilas principales laterales (pilas P-5 y P-8, Figs. 4b y 7a), situadas en el extremo exterior de los pórticos de 225 m de luz, se proyectaron con dos tabiques exentos empotrados en la base (cimentación) y cabeza (nudo trapecial). Se controlaron así los niveles de empotramiento a flexión derivados de la fuerte descompensación de luces, de 225 y 120 m, de los vanos de tablero adyacentes, así como las flexiones derivadas de los desplazamientos impuestos en cabeza de carácter térmico y reológico, sensiblemente superiores a los de las dos pilas centrales (pilas P-6 y P-7, Figs. 4a y 7b) a causa del considerable incremento en este caso de su distancia al punto neutro de desplazamientos, del orden de 350 m.



Figuras 7a, 7b, y 7c. Vista del fuste de P-8, arranque de P-6 en ejecución, y vista de pilas laterales.

El resto de las pilas de los vanos de acceso son convencionales (Fig. 7c), con sección rectangular y dimensiones variables en longitudinal y transversal, la sección es hueca con tabiques de 0,30 m de espesor. Su altura oscila entre 20 y 52 m. Los apoyos del tablero sobre dichas pilas se proyectan mediante aparatos de apoyo esféricos libres longitudinalmente con lámina deslizante de UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene), con características mejoradas frente a los convencionales teflones (PTFE), y con el desplazamiento transversal impedido en uno de ellos.

4. Descripción del proceso constructivo.

El proceso constructivo del viaducto sobre el río Ulla debe aunar la utilización de unos medios de montaje viables con una afección mínima y, en todo caso, reversible, al cauce del río.

En este sentido se han estudiado con el máximo detalle las posibilidades constructivas en todas las fases del proceso, tanto en la ejecución de cimentaciones como en el proceso de transporte, izado y colocación de la estructura metálica.

Los estribos y las pilas P1 a P4 y P8 a P11, con accesos sencillos por vía terrestre, se cimentan mediante zapatas apoyadas sobre el estrato granítico con una tensión media admisible de 10 kg/cm².

Para el acceso a las cimentaciones de las pilas P-5, P-6 y P-7, situadas en el cauce del río Ulla (Fig. 8a), se ha materializado, un pantalán de acceso, ejecutado mediante una estructura metálica

(Fig. 8b) mediante vanos isostáticos de 6 m de luz y 14 m de anchura, que se apoyan en pilotes hincados metálicos. El pantalán se ha construido en avance sobre sí mismo logrando un escrupuloso respeto medioambiental sin afección a la ría y ha facilitado mucho las condiciones de ejecución de las cimentaciones de las pilas centrales del viaducto al poder acceder desde tierra, sin necesidad del empleo de barcazas.



Figuras 8a, y 8b. Vista aérea de los recintos de las pilas P-5, P-6 y P-7, e imagen del pantalán.

Las pilas P-5 y P-6 se cimentan mediante encepados de 42 (Fig. 9) y 56 pilotes $\phi 1500$ respectivamente, con unas dimensiones de 30x24,5x4,5 m en la P-5 y de 34,5x30x5m en la P-6, mientras que la pila P-7 se cimenta mediante una zapata de 27x24x5.25m (Fig. 10b), trabajando a 8.6 kg/cm².



Figura 9. Descabezado de pilotes del encepado de P-5.



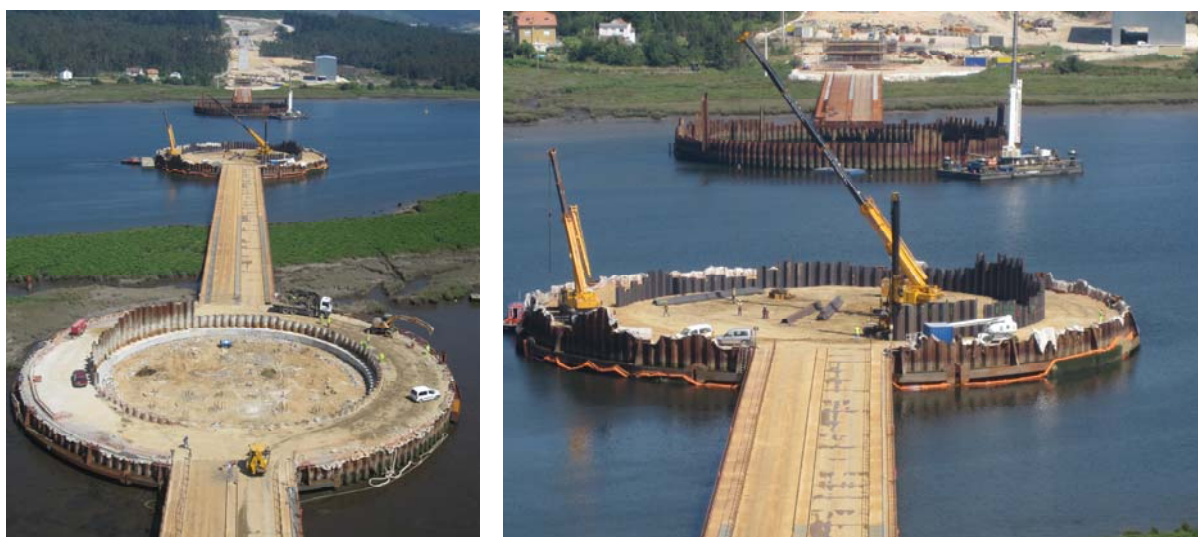
Figuras 10a, y 10b. Vista de la ferralla del encepado de P-5 (30x24,5x4,5m), y de la zapata de la P-7.

Para la ejecución de las cimentaciones de las 3 pilas del cauce (P5, P-6 y P7) se ha construido un doble anillo circular concéntrico mediante tablestacas. El anillo exterior se arriostra mediante

zunchos metálicos trabajando a tracción y el interior mediante zunchos de hormigón trabajando a compresión.

Ejecutado el anillo exterior hincando las tablestacas desde barcaza, se rellena su interior accediendo desde tierra por el pantalán. Con el interior relleno se procede a la ejecución de los pilotes de pilas P-5 y P-6, y al hincado del anillo interior de tablestacas mediante vibración (Fig. 11b) desde tierra. Una vez concluido el recinto interior, se procede a ir excavando su interior y según se progresa se van ejecutando los anillos de zunchado interiores. Al llegar a la cota requerida, se ejecutan los encepados de P-5 y P-6 y la zapata de P-7. La descripción detallada de la ejecución de las cimentaciones se realiza en la ponencia de la referencia [3].

Las grandes dimensiones de los anillos de tablestacas, con 68 m de diámetro (el exterior) y 48 m (el interior) en la P-6, se pueden apreciar en las figuras 11a y 11b.



Figuras 11a, y 11b. Vista de los recintos de tablestacas de las pilas del cauce.

4.1. Ejecución del tablero.

La ejecución del tablero se divide en tres zonas con procesos constructivos diferentes. Los dos tramos laterales de canto constante situados a cada lado de la ría, vanos 1 a 4, y 10 a 12, y la zona de canto variable central, vanos 5 a 9 (entre pilas P4 y P9).

El tramo de canto constante de los vanos 1 al 4 se ejecutará izando las dovelas que componen la estructura metálica del tablero mediante el empleo de grúas entre el E-1 y la P-2, para posteriormente en dos fases realizar el lanzamiento de la estructura metálica de 120+120 m de longitud (Fig. 12). Para reducir la luz durante el empuje se dispondrán una serie de apeos intermedios que además permiten montar el tablero de manera modular entre el estribo 1 y la pila P-2. Varios de estos apeos sólo trabajan durante las fases provisionales de ensamblaje y no se emplean durante en el empuje.

El tramo de canto contante comprendido entre las pilas P-9 y el estribo E-2, está previsto ejecutarlo mediante izados de vanos completos siguiendo la secuencia mostrada en la figura 13, para lo cual la estructura metálica se ensamblará bajo la sombra del viaducto para izar los vanos completos desde las cabezas de la pilas.

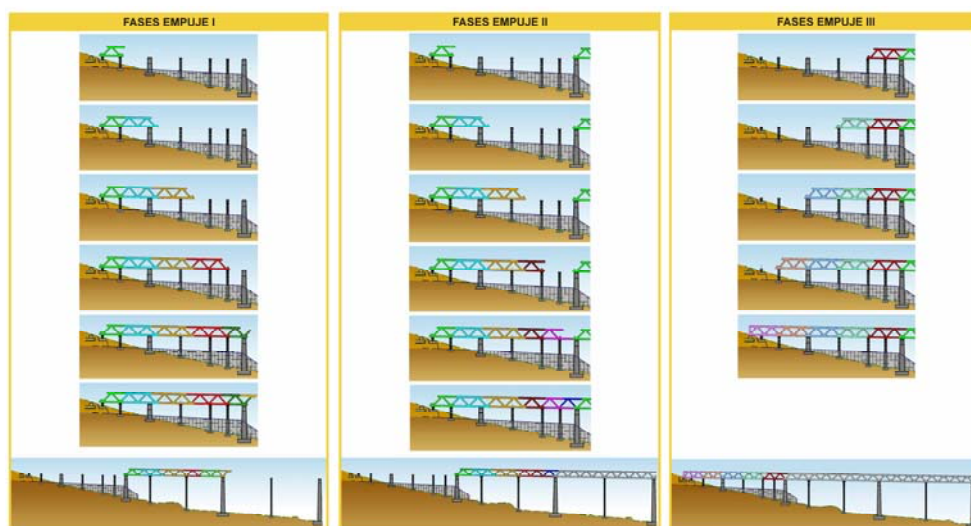


Figura 12. Secuencias del proceso de ejecución y del lanzamiento de los vanos 1 al 4.



Figura 13. Secuencia del proceso de izado de los vanos laterales 10, 11 y 12.

Está previsto concluir la ejecución “in situ” de ambos tramos de canto constante antes de finales de 2011.

El tramo del tablero de canto variable comprendido entre las pilas P-4 y P-9 se ejecutará mediante el avance en voladizos compensados desde las 4 pilas centrales (Fig. 14). Se izarán dovelas de 15 m de longitud y ancho completo. El transporte de las dovelas hasta sus posiciones de izado se efectuará mediante una base inferior tractora de múltiples ejes giratorios, con acceso siempre por tierra gracias al pantalán, y sólo será necesario emplear una barcaza para el transporte de la dovela de cierre de clave del vano central entre P-6 y P-7.

Con este proceso los trabajos de los vanos de canto constante serán independientes del terreno inferior, no afectando al cauce principal ni a las marismas ni a la vegetación de ribera.

Una vez completado el montaje de la estructura metálica, se procederá a realizar el hormigonado inferior del tablero en todo el puente, en negativos colaborante y en positivos sólo mediante un cierre para permitir el acceso para inspección y mantenimiento.

Posteriormente se realizará el cambio de apoyos provisionales de las pilas de los vanos laterales dejando el puente apoyado en los apoyos definitivos, para realizar el desapeo de los apoyos intermedios empleados para el montaje de la estructura metálica en los vanos laterales 1 a 4 y 10 a 12. Concluido el desapeo, se procederá a realizar un descenso simultáneo y controlado de 25

cm de los apoyos de las pilas P-4 y P-9, con objeto de reducir las flexiones en las pilas principales adyacentes P-5 y P-8 por efecto pórtico con tramos adyacentes descompensados (225 m y 120 m de luz).



Figura 14. Secuencia del proceso de izado de los vanos laterales 10, 11 y 12.

A continuación se colocan las prelosas superiores en celosía entre los cordones superiores, y se hormigona la losa superior a todo el ancho mediante el empleo de un carro de hormigonado con encofrados para los voladizos laterales.

Por otro lado, se completarán los acabados del tablero, la impermeabilización, las canaletas, aceras, barreras, conductos de instalaciones y preinstalaciones de vía y energía, etc.

5. Control de ejecución de la estructura metálica.

La complejidad de la estructura metálica del tablero, con unas dimensiones fuera de lo habitual, con casi 20.000 t de acero y piezas de hasta 17,5 m de canto, junto con la dispersión geométrica de los talleres contratados por la UTE río Ulla para ejecutar el tablero, han requerido el desarrollo de un sistema de control de ejecución pionero hasta la fecha en España.

Medio tablero se está prefabricando desde inicios de 2010 en talleres de Asturias (Ascamón y Joama), y la otra mitad se va a prefabricar en Portugal (Martifer). Desde los talleres se enviarán a obra piezas simples (nudos, cordones, diagonales, y montantes transversales), o conjuntos de nudo-cordón, o nudo-cordón-nudo, y en los talleres de obra se ensamblarán piezas hasta materializar dovelas completas, de cómo mínimo, 15 m de longitud. Desde los talleres de obra, se trasladarán las dovelas a su posición, para su izado en posición definitiva en el puente.

Todos estos condicionantes han obligado a establecer un sistema de control de calidad que permita en último término certificar la correcta ejecución de la estructura metálica del viaducto. Las bases de dicho control, que estaba ya establecido en el PPTP del proyecto, se han desarrollado con el avance de la obra, particularizando los aspectos necesarios para lograr el correcto engranaje entre Talleres Metálicos, la Entidad de Control del Contratista, el propio Contratista, la Entidad de Control de contraste la Dirección de Obra, la Asistencia Técnica a la D.O, y la propia Dirección de Obra.

La base de todo el sistema se fundamenta en que el Contratista es el responsable de acreditar la conformidad de la correcta ejecución de la estructura metálica, a través de su Programa de

Control de Calidad, de acuerdo a los requisitos de las normativas de aplicación, para lo cual, puede, o bien encargarse él mismo de realizar el control establecido en el PPTP del Proyecto o bien asumir como suyos los controles del taller metálico y contrastarlos con al menos un 20% de ensayos y controles de contraste.

Adicionalmente a estos controles, la Dirección de Obra cuenta además de con una Asistencia Técnica, en la cual está involucrado el proyectista como asesor especializado en estructuras, con otra Entidad de Control de calidad independiente, que se responsabiliza de auditar todo el sistema de control de ejecución del Contratista y además realiza un porcentaje reducido de ensayos y controles de contraste.

Este complejo sistema de control se describe con detalle en la ponencia de la referencia [4].

6. Principales participantes en el proyecto y obra.

Propiedad: Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias. Ministerio de Fomento.

Dirección de Obra: Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias. Ministerio de Fomento.

- D. Rubén Estévez (Director de Obra)
- D. Mario Latorre

Constructora: UTE río Ulla. Dragados-TECSA.

Talleres Metálicos: MASA-Ascamón-Joama / Martifer.

Proyecto de la Estructura: IDEAM S.A.: Francisco Millanes, Luis Matute, Miguel Ortega, Carlos Gordo.

Asesoría especializada en estructuras a la Dirección de Obra: IDEAM S.A.: Francisco Millanes, Miguel Ortega, Carlos Gordo, Juan José Laso, Pedro Atanasio.

Asistencia Técnica a la Dirección de Obra: TYPESA.

Asistencia Técnica a la Constructora: Fhecor

Servicios Técnicos de Dragados.

7. Referencias

- [1] MILLANES, F.; MATUTE, L.; ORTEGA, M. Y OTROS. "Viaduct over river Ulla in the HSRL 'Eje Atlántico' in Spain: an outstanding structure in the field of composite steel-concrete HSRL bridges". *Workshop Eurosteel-08. 5th conference on steel and composite structures*. Gratz. Austria 3-5 Sept. 2008. pp. 147-152 Vol. A.
- [2] F. MILLANES, L. MATUTE, M. ORTEGA, Y OTROS "Desarrollo de soluciones mixtas y metálicas para viaductos de las líneas de alta velocidad españolas". *Hormigón y Acero*. Vol. 62 Nº 259. Enero-Marzo 2011, Pág. 7-27 Ed. Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural. Madrid 2010.
- [3] S. LÓPEZ, I. MUÑOZ, F. TARQUIS, F. MILLANES, M. ORTEGA, R. ESTÉVEZ, G. BURBANO. "Ejecución de las cimentaciones del viaducto del río Ulla en la ría de Arosa". *V Congreso ACHE*. Barcelona. Oct- 2011.
- [4] R. ESTÉVEZ, F. MILLANES, M. ORTEGA, A. FERRANDIS. "Nuevos planteamientos en el control de la ejecución de puentes metálicos: el Viaducto mixto sobre el río Ulla". *V Congreso ACHE*. Barcelona. Oct- 2011.