

EJECUCIÓN DE LOS VANOS DE ACCESO DEL VIADUCTO SOBRE EL RÍO ULLA DE LA MARGEN IZQUIERDA MEDIANTE LANZAMIENTO

Susana LÓPEZ MANZANO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
DRAGADOS
Dirección Técnica
slopezm@dragados.com

David MOURIÑO CRESPO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
DRAGADOS
UTE Río Ulla
dmourinoc@dragados.com

Felipe TARQUIS AFONSO

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
DRAGADOS
Dirección Técnica
ftarquisa@dragados.com

Julio SÁNCHEZ DELGADO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
FHECOR, INGENIEROS CONSULTORES
Director técnico obra civil
jsd@fhedor.es

Rubén ESTÉVEZ SÁNCHEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Dirección General de Ferrocarriles.
Ministerio de Fomento
Director de Obra
raestevez@fomento.es

Miguel ORTEGA CORNEJO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
IDEAM, S.A
Director de Ingeniería
miguel.ortega@ideam.es

RESUMEN

El lanzamiento de la celosía mixta de los vanos 1 a 4 se realizó con la particularidad de que no existía un parque de fabricación en la traza a cota de explanación, por lo que se ejecutó inicialmente un montaje modular con grúa del vano 4 entre el estribo 1 y la pila 2, el cual se empujó hasta la pila 3 sobre apeos provisionales desde la pila 2. Después se montó con grúa el vano 3 entre el estribo 1 y la pila 2 unido al vano 4 para posteriormente lanzar conjuntamente los vanos 3 y 4 hasta la pila 4. En total, se lanzaron 240m y 27500kN de tablero de celosía mixta (parte metálica) con una geometría única con 8,50m de canto entre bordes extremos de cordones y almas inclinadas.

PALABRAS CLAVE: Lanzamiento en altura, celosía mixta, canto 8,50m, limitación de carga.

1. Introducción

El Viaducto sobre el río Ulla en la ría de Arousa [1], con 1620m de longitud, tres vanos centrales de 225+240+225m y vanos de acceso con luces tipo de 120m, constituye la actuación de mayor envergadura del Eje Atlántico de Alta Velocidad.

Los principales aspectos relacionados con su concepción, proceso de ejecución y control de la estructura metálica de la doble celosía mixta del tablero se describe con detalle en las referencias [2] y [3]. Las singularidades y los distintos procesos constructivos empleados para la ejecución de las cimentaciones se describen en la referencia [4]. Para la ejecución del tablero se emplean procesos constructivos diferentes: ver referencias [5], [6] y [7]. Este artículo se centra en describir los aspectos constructivos del proceso de dicho lanzamiento entre E-1 y P-4.



Figura 1: Fotomontaje del viaducto y vanos de la margen izquierda

La sección del tablero se proyecta como una celosía mixta formada por 2 cuchillos metálicos donde los cordones superior e inferior son paralelogramos metálicos de 0,80m de ancho y altura 1,00m y 1,20m respectivamente, con un canto constante de 8,50m entre bordes extremos de cordones, ver referencias [1], [2] y [4].

La distribución de luces de los 4 vanos de la margen izquierda (figura 1), desde estribo 1 (E-1) y pila 4 (P-4), es 50+80+2x120m. Los vanos 3 y 4, de 120m de luz cada uno, fueron ensamblados en altura entre el E-1 y P-2 y a continuación empujados hasta posición definitiva (entre las pilas P-2 Y P-4). Posteriormente los tramos 1 y 2 (50+80 m respectivamente) se sueldan a los tramos lanzados, previo izado con grúa, directamente en su posición definitiva (figura 2)

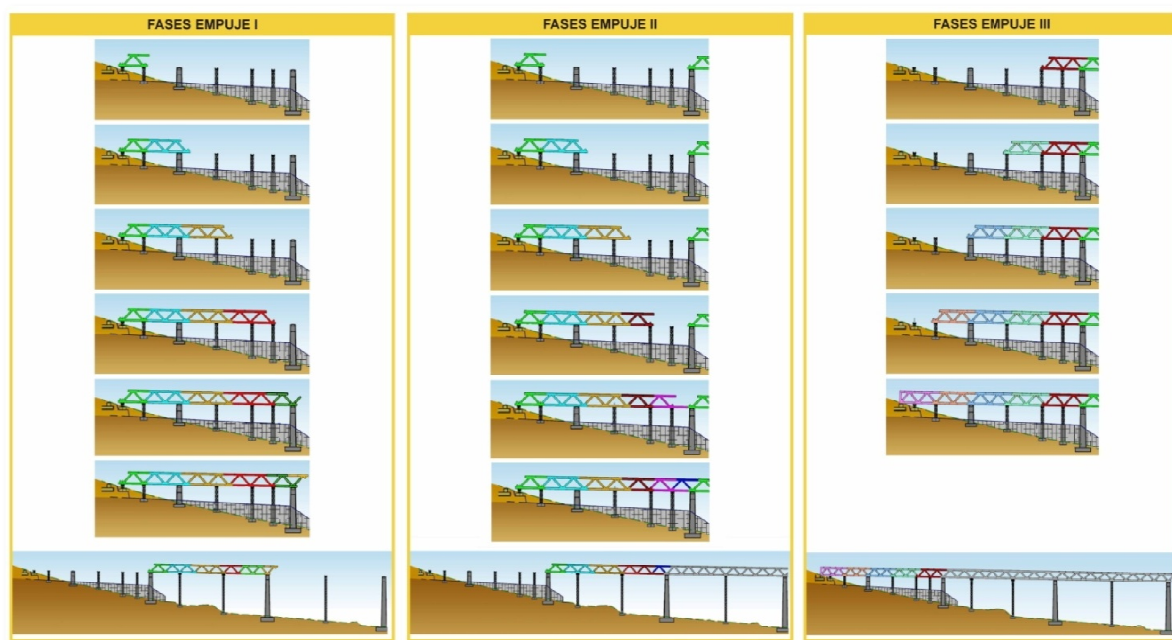


Figura 2: Secuencias de ensamblaje y lanzamiento de los vanos 1 a 4.

2. Descripción general del lanzamiento

Como se ha comentado en el párrafo anterior, el proceso de empuje consistió en lanzar los vanos 3 y 4 en dos etapas siguiendo una directriz curva en planta (radio 5116,4m) y una pendiente descendente de 1,8 %.

Por interferencias con el tramo adjudicado a otra constructora por detrás del E-1, no fue posible ubicar el parque de ensamblaje de dovelas por detrás del mismo en la traza a cota de explanación, por lo que finalmente se ejecutó un montaje modular en altura entre E-1 y P-2 sobre apeos provisionales intermedios, así pues el parque de fabricación de dovelas estaría formado por los siguientes apeos y pilas: A0 (a 10m del E-1), M1 (solo para montaje, a 15m de A0), P1 (a 25m de M1), A1 (a 26,25m de P1), A2 (a 25m de A1), M2 (solo para montaje, a 14,75m de A2) y P-2 (a 14m de M2 y a 130m de E-1).

Además de las pilas de hormigón del viaducto, y los apeos provisionales del parque de ensamblaje de dovelas, también se emplearon otros apeos provisionales intermedios para reducir la luz del voladizo central, con la siguiente configuración: En el vano P-2 a P-3, se emplearon A3 y A4 (a 30m y 75m de P-2 respectivamente), en el vano P-3 a P-4 se necesitó A5 (a 60m de P-3). (figura 3).

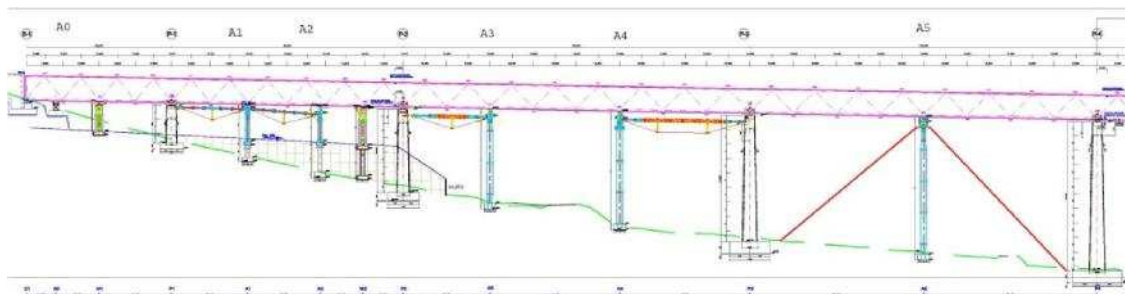


Figura 3: Configuración de apoyos

El tiro para el lanzamiento se realizó mediante cable pretensado, y fué traccionado por dos unidades hidráulicas de tiro desde estructuras auxiliares ancladas a P-2 y a la celosía a través de unas orejetas de conexión a cada lado. Debido al 1,8% de pendiente descendente se previó y colocó un sistema de cable de retenida en E-1 para acompañar el movimiento.

3. Condicionantes y análisis del proceso

Para comprobar la viabilidad del lanzamiento de la estructura, así como analizar el proceso de lanzamiento fue necesario realizar un cálculo global plano así como espacial, además de modelos auxiliares seccionales teniendo en cuenta las diferentes distorsiones del cordón inferior de la celosía.

Para poder validar el proceso, debían satisfacerse una serie de premisas: que las reacciones máximas en servicio de los apeos fueran del orden de 10000kN, es decir, 5000kN por cuchillo; que todos los elementos de la estructura, bajo la combinación característica en servicio estuvieran sometidos a tensiones de Von Mises inferiores al 90% de su límite elástico; que todos los elementos estructurales cumplieran en ELU. En cuanto a la desviación máxima en las contraflechas o en las cotas de apoyos no podía superar $\pm 0,020\text{m}$. La holgura transversal del tablero entre guías laterales no podía ser superior a $\pm 0,025\text{m}$.

Además de las limitaciones de la propia celosía, también se limitó la tensión de trabajo en los teflones, debiendo ser inferior a 250kp/cm^2 durante el lanzamiento, aun así valor notablemente mayor que la tensión de trabajo de las almohadillas de empuje normalmente empleadas para las maniobras de lanzamiento.

De los datos obtenidos del análisis se determinaron las características principales del lanzamiento: El empuje se realizó por medio de patines centrados en el alma interior del cordón inferior de las celosías, sobre una tira de pastillas de elastómero- teflón, con una longitud no inferior a 1,50m. Las almohadillas de empuje tenían 0,3m de ancho, además debían colocarse con el eje situado a 0,030m de la cara exterior del alma interior del cordón. Puesto que se obtenían tensiones de trabajo superiores a las alcanzadas en la práctica usual de estas maniobras, se fabricaron y ensayaron almohadillas de empuje especiales con mayor capacidad.

Sin duda la singularidad del proceso de lanzamiento vino marcada por la limitación de reacciones máximas en apoyos, de tal manera que se debía controlar directa o indirectamente la reacción en cada apoyo durante todo el proceso. Así se determinó el criterio para conocer qué apoyos necesariamente debían tener patines hidráulicos y las fases intermedias de los dos lanzamientos, que consistía en que, en cada una de las fases de empuje, el tablero se encontraría apoyado en un máximo de dos apoyos fijos (sin gatos sobre patín). Resultando que, si la estructura estaba apoyada en dos apoyos, se tenía un reparto isostático independiente del tipo de apoyo. Si la estructura se apoyaba en tres apoyos, al menos uno de ellos debía tener patín hidráulico. Cuando la estructura apoyara en 4 puntos, al menos 2 de ellos debían tener gato hidráulico; y si la estructura estaba apoyada en 5 apoyos, eso implicaba que 3 de ellos debían presentar equipo hidráulico.

Con este criterio, se estableció entonces que los apoyos A0, A2, P-2, A3, A4 y A5 debían disponer patines hidráulicos para poder controlar las reacciones hiperestáticas. De esta manera se podía actuar sobre los gatos de dichos dispositivos para modificar las reacciones, por eso a las fases de deslizamiento puras se le sumaban fases estáticas con gateos intermedios y también para evitar la variación de reacciones en los apoyos debidos a posibles desviaciones en las contraflechas o en las cotas de apoyo.



Figura 4: Sección transversal con empuje con apoyo en alma central y patín hidráulico

Además de patines con sistema hidráulicos, se utilizaron rótulas cilíndricas de eje transversal en todos los patines de apoyo, pero con el condicionante de realizar el lanzamiento en un único cuchillo de teflón al comprobarse que la reacción concentrada en el alma interior del cordón inferior implicaba menos actuaciones de refuerzo. (figura 4)

Se limitó el viento de maniobra a 14m/s.

4. Elementos y dispositivos auxiliares

4.1 Apeos provisionales

Salvo el apeo A0, que está formado por un durmiente de hormigón armado, los apeos provisionales están formados por pilares metálicos con dos fustes articulados en la base. Su estabilidad frente a cargas horizontales transversales está resuelta mediante tirantes anclados en sendos muertos de retenida; y su estabilidad frente a cargas horizontales longitudinales se controla mediante la unión de sus cabezas a las pilas de hormigón, en el caso de A1 a A4. En el caso de A5, se colocó un atirantamiento activo anclado en las proximidades de las cimentaciones de P-3 y P-4.

4.2 Sistema de tiro y retenida

Se empleó cable pretensado de 15,24mm de diámetro que fue tensionado por dos unidades hidráulicas de izado de 1200kN de capacidad unitaria y 0,55m de carrera enganchadas a una viga metálica de tiro anclada a la P-2. El anclaje pasivo de todo el tiro (aproximadamente 10 % de la carga vertical) se localizó en las orejetas de conexión a la celosía metálica. Debido a la longitud a lanzar, fue necesario realizar un cambio de posición del anclaje pasivo a la estructura.(figura 5)

El equipo de retenida con su anclaje activo en E-1 y anclaje pasivo de 7 torones y unidades hidráulicas de izado de 700kN de capacidad unitaria funcionaba a la “inversa” que el sistema de tiro, monitorizados en la misma central para conseguir un “sincronismo” que permitiera el movimiento de la estructura



Figura 5: Sistema de tiro

4.3 Sistema de deslizamiento y apoyo

Según comentado en párrafos anteriores, en las cabezas de apeos provisionales y pilas se colocaron los patines de deslizamiento con rótula cilíndrica con una única línea de almohadillas de empuje, una unidad bajo alma interior de cada cuchillo, a excepción de P2, que se emplearon un juego de dos patines por línea.

Debido a la configuración de los apoyos según las fases de lanzamiento, los patines deslizantes fijos se emplearon en P1, A1, P3 y P4. De esta manera también se limitó la actuación sobre elementos definitivos de la infraestructura del viaducto, a excepción de la P-2. En el resto se emplearon patines hidráulicos. La capacidad del equipo hidráulico así como el estudio del recorrido de las carreras en las distintas fases del lanzamiento fueron obtenidas del análisis de cálculo de las mismas.

Estos patines estaban preparados para el guiado lateral de la estructura durante la maniobra.

Igualmente se diseñaron elementos de unión de dichos patines a los apeos metálicos mediante vigas de conexión donde también se alojaron otros dispositivos.

4.4 Sistema de recuperación de flecha en punta

La recuperación de flecha en punta en A3, A4, P-3, A5 y P-4 se realizó por medio de 4 gatos de 2000kN y carrera 2m. Se diseñó y fabricó una estructura de sujeción de los gatos a la celosía metálica formada por vigas inferiores, puntales inclinados y verticales cerrando vigas longitudinales y transversales superiores.

También fue necesario disponer en el extremo frontal del mamparo de P-4 una estructura abatible, que unida a la celosía permitiera el deslizamiento de ésta sobre los patines una vez recuperada la flecha en punta. Esta estructura estaba formada por vigas fijas unidas al cordón inferior de la celosía, vigas abatibles unidas a las fijas mediante una unión bulonada y puntales abatibles unidos a las diagonales de la celosía, y una vez recuperada la flecha en punta unidas a las vigas abatibles mediante otra unión bulonada. (figura 6)



Figura 6: Sistema de recuperación de flecha en punta.

4.5 Sistema de recuperación en cola

La recuperación de flecha en cola se realizó por medio de 2 gatos de 5000kN y carrera 0.6m colocados transversalmente a 1,2m del eje de la celosía y a 0,625m del alma exterior del montante transversal del nudo inferior de los mamparos de pilas 2 (2ª fase de lanzamiento) y 3 (1ª fase de lanzamiento).

La estructura de sujeción de los gatos a la celosía metálica consistió en dos vigas longitudinales doble T de 0,79m de canto de las que suspendían los gatos para transmitir la carga vertical de éstos al montante transversal inferior de los mamparos mediante chapas soldadas al almas. También se fabricaron vigas transversales similares y las de arriostramiento transversal y longitudinal de los gatos.

4.6 Topes longitudinales y transversales

Los patines de deslizamiento estaban preparados para el guiado lateral según el viento de maniobra, sin embargo se diseñaron y colocaron topes metálicos en todas las vigas dinteles de los apoyos, así como estructuras específicas que actuaban de tope transversal en momentos de parada.

Se fabricaron y colocaron elementos metálicos de tope longitudinal en P-2 y P-4.

5. Proceso de lanzamiento

5.1 Ensamblaje de los tramos a lanzar

Como se ha comentado anteriormente, el parque de ensamblaje se adecuó en la zona comprendida entre E-1 y P-2. La celosía se dividió en dovelas en función de los pesos y capacidad de los medios de izado, capacidad de transporte y pendientes del terreno, optimización de disposición de apeos, etc.

La nave de preensamblaje se situó cerca del E-1 donde las piezas se terminaban de soldar a los elementos básicos de nudo-cordón que venían de los talleres.

La manipulación de estas dovelas de grandes dimensiones se realizó escrupulosamente mediante elementos de enganche con la menor interferencia con los elementos definitivos. Se siguieron protocolos de manipulación y montaje de piezas a las que se añadieron elementos de rigidización de las dovelas, y balancín de cogida con elementos hidráulicos de regulación para posicionar las mismas. Se realizó protocolo con secuencias de soldeo para las soldaduras en altura para evitar deformaciones indeseadas y fallo en la ejecución de las mismas. Se emplearon topes provisionales para la estabilización de las dovelas sobre los apoyos mientras se completaba la celosía. (figura 7a)

Se realizaron 2 montajes entre A0 y P-2, primero el vano 4 y luego el vano 3 que se soldó de forma continua al vano 4. Finalmente se ejecutaron los vanos 1 y 2, entre E-1 y P-2, que se unieron a los vanos lanzados anteriormente.(figura 7b)



Figura 7a: Montaje de dovelas con grúa. Figura 7b: Montaje de vanos 1 y 2 después del lanzamiento

5.2 Operaciones previas al lanzamiento

El desapeo de los vanos a lanzar se realizó por fases mediante la activación de los propios patines hidráulicos que se habían colocado en los apeos del lanzamiento A0, A2 y P-2, usando el criterio de “sólido rígido”.

Una vez desapeada la estructura, se realizó un taquimétrico de la estructura para poder comprobar la bondad del cálculo y ejecución en cuanto a contraflechas y deformadas verticales. Además se realizaron pruebas mediante la variación de las carreras de los gatos de los patines en diferentes apoyos para verificar el comportamiento de la estructura.

5.3 Fases de lanzamiento

Se ejecutaron 2 lanzamientos, uno de 120m (vano 4) y el segundo lanzamiento de 240m de celosía (vanos 3+4 juntos). Como se ha dicho anteriormente, a las fases de deslizamiento puro, se sumaban fases estáticas como gateos para corregir reacciones y las fases de llegadas a apeos o pilas donde se realizaba una recuperación de flecha en punta, y por ende, las salidas de apeos o pilas (recuperación en cola).

El deslizamiento del vano se producía activando las unidades de tiro situadas en P-2 que traccionaban los cables que estaban enganchados a la estructura, de tal manera que el sistema de retenida “acompañaba” al movimiento al liberar el cable que le unía al tablero. La celosía deslizaba por la chapa de fondo centrada en el alma interior inferior previo engrasado de la línea

de almohadillas de los patines y era guiada lateralmente por los dispositivos metálicos de los propios patines.



Figura 8: Fases de deslizamiento y llegada apoyo

Las fases donde se realizaron gateos se ejecutaron activando los gatos de los patines correspondientes mediante la central hidráulica. Era posible activar los sistemas de los dos cuchillos como único punto hidráulico o por separado, según los criterios de posición y apoyo de toda la celosía en la etapa en la que se encontraba.

Para la recuperación de flecha en punta se realizaron las siguientes operaciones: Despliegue de las unidades hidráulicas en punta contra el apoyo y recuperación de flecha. Después se producía un desabatimiento de la nariz metálica y de la biela, su ajuste y unión con el cordón de la celosía, con apoyo en los patines deslizantes del lanzamiento. Una vez que la estructura auxiliar estaba ajustada y apoyada, se procedía a la descarga de las unidades hidráulicas en punta y puesta en carga de la misma. Después se continuaba con las fases de deslizamiento hasta sobrepasar el patín del apoyo, para replegar de nuevo la estructura.

Para las fases de recuperación en cola, se emplearon los propios sistemas hidráulicos de los patines de deslizamiento, salvo en P1 y A1, donde se necesitó la estructura auxiliar y sistema hidráulico adicional descrito en el apartado anterior.

En los momentos de parada de la maniobra, se emplearon los topes transversales diseñados para estas situaciones para asegurar la estructura y se accionaba la retenida. Terminado el lanzamiento, una vez retirado el sistema de retenida, se activó el tope mecánico longitudinal en P-4.

6. Control del lanzamiento

Durante el proceso de lanzamiento se controló el comportamiento frente a cargas horizontales de los diferentes apoyos que intervinieron en el mismo, la deformación vertical en el tablero del viaducto en sus secciones extremas (punta y cola) y las reacciones medidas en los apoyos deslizantes con patines hidráulicos.

Los sistemas hidráulicos permitían controlar las cargas e indirectamente se obtenían en resto (apoyos con patines mecánicos). En las cabezas de pilas se colocaron clinómetros para controlar los giros. Los apeos provisionales metálicos se vinculaban a las cabezas de pilas de hormigón y se instrumentaron los arriostramientos para conocer las tensiones. El control topográfico con equipos de lectura pautada de flechas instantáneas se obtuvo por medio de 5 GPS dispuestos 2 en secciones de punta y 2 en cola (control del comportamiento elástico de la estructura) y otro en centro vano. El control topográfico automatizado también permitía conocer la deriva de la punta, de la cola y el posicionamiento de la longitud deslizada.

Para todos los mecanismos de control se establecieron valores de alarma y valores de parada.

Se analizó el lanzamiento para poder detener el mismo en cualquier posición, asegurando la estructura. También se contó con gatos de emergencia y dispositivos en todas las pilas en caso de producirse alguna contingencia.

La meteorología (viento) se registró tanto en días precedentes como durante toda la maniobra.

El lanzamiento del vano 4 se ejecutó en 4 días en agosto de 2013, y el lanzamiento de los vanos 3 y 4 se llevó a cabo en octubre de 2013 con total éxito.



Figura 9: Fin del lanzamiento 1, del vano 4



Figura 10: Lanzamiento 2, vanos 3 y 4.

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-TECSA.

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.: Francisco Millanes, Luis Matute, Miguel Ortega, Carlos Gordo.

Asesoría especializada en estructuras a la D.O.: IDEAM S.A.: Francisco Millanes, Miguel Ortega, Pedro Atanasio, Adrián Sanchez, Juan L. Mansilla, Jokin Ugarte, Carlos Gordo.

Asistencia Técnica a la Dirección de Obra: TYPESA.

Entidad de Control de la Dirección de Obra: Applus.

Apoyo Técnico a la Constructora: Dirección Técnica de Dragados y Fhecor Ingenieros Consultores.

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] 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.
- [5] 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.
- [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] CORRES H, TARQUIS F., SANCHEZ J., CHICO P., ORTEGA M., ESTÉVEZ R.A. "Ejecución de los vanos de canto variable por avance en voladizos sucesivos del viaducto del río Ulla". *VI Congreso ACHE*. Madrid. Jun- 2014.