

NUEVOS PLANTEAMIENTOS EN EL CONTROL DE LA EJECUCIÓN DE PUENTES METÁLICOS: EL VIADUCTO MIXTO SOBRE EL RÍO ULLA

Rubén A. ESTÉVEZ SANCHEZ

Ingeniero de Caminos
Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias
Director de Obra
raestevez@fomento.es

Miguel ORTEGA CORNEJO

Ingeniero de Caminos
IDEAM S.A.
Jefe de Proyectos
miguel.ortega@ideam.es

Francisco MILLANES MATO

Dr. Ingeniero de Caminos
IDEAM S.A.
Presidente
general@ideam.es

Ana FERRANDIS ESTRELLA

Arquitecto Técnico
DRAGADOS, S.A.
Dirección de Calidad y M. A.
aferrandise@dragados.com

RESUMEN

La singularidad del viaducto mixto sobre el río Ulla, con 1620 m de longitud, una distribución de luces de 50+80+3x120+225+240+225+3x120+80 m, y cerca de 20.000 t de acero estructural, de calidad S-355-J2+N, S-355-K2+N, y aceros termomecánicos S-460-M y S-460-ML, no habitualmente empleados en España hasta la fecha en puentes, junto a la adjudicación de la fabricación de la estructura metálica a dos grupos de talleres metálicos, uno español y otro portugués, por parte del Contratista, han conducido al desarrollo de un planteamiento novedoso en lo referente al control de la ejecución de la estructura metálica. El PPTP del Proyecto licitado ya establecía las bases de un marco general para asegurar el control de calidad de la ejecución de la estructura metálica que se ha desarrollado en función de los condicionantes específicos tras la adjudicación de la obra.

PALABRAS CLAVE: Estructura metálica, control de ejecución, Entidad de Control, planos de taller, planos de montaje, Plan de Aseguramiento de la Calidad, Programa de Puntos de Inspección.

1. Introducción.

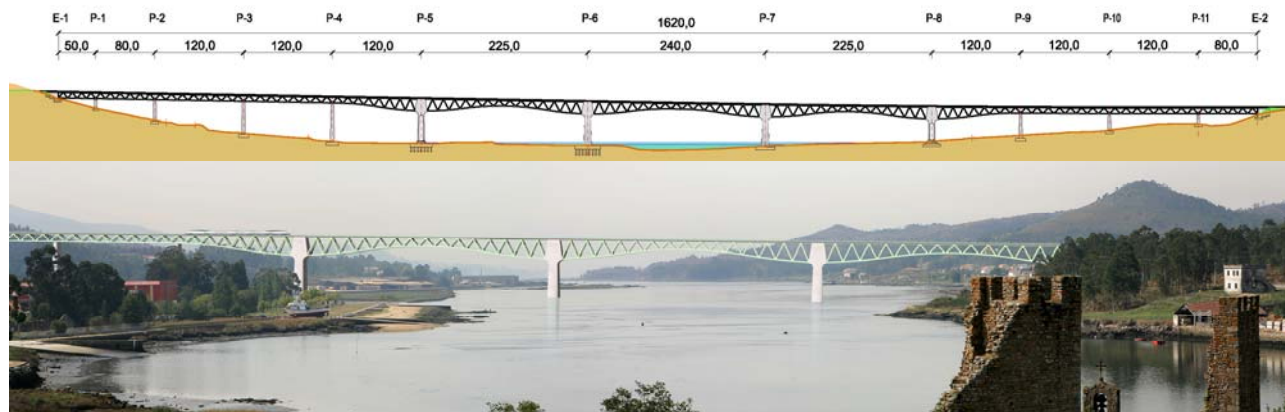
El viaducto sobre el río Ulla [1, 2 y 3] en la desembocadura de la ría de Arosa, constituye la actuación de mayor alcance, desde el punto de vista estructural, del Eje Atlántico de Alta Velocidad entre Pontevedra y A Coruña. El viaducto, adjudicado a la UTE Río Ulla (Dragados-Tecsa), se encuentra en construcción desde finales de 2008, y está previsto concluirlo a finales de 2012/inicios de 2013.

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 y 1b).

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.

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.



Figuras 1a y 1b. Alzado y fotomontaje del Viaducto sobre el río Ulla

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. 2).

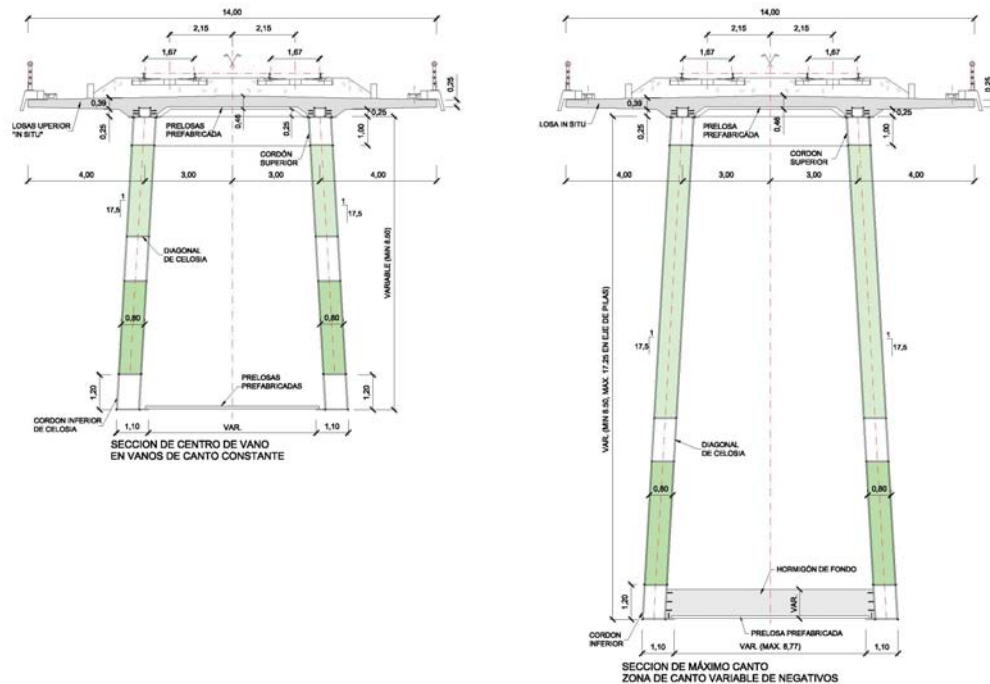


Figura 2. Secciones transversales tipo.

El acero utilizado en los vanos de acceso de canto constante es de calidad S355-J2+N y S355-K2+N (para chapas superiores a 60 mm), mientras que en los tres vanos centrales de canto variable y mayor luz (225+240+225 m) el acero es de calidad termomecánica S-460-M para espesores menores de 65 mm, mientras que para espesores mayores el acero es de calidad S-460-ML.

2. Planteamiento de la fabricación de la estructura metálica del tablero.

La singularidad y complejidad de la estructura metálica del viaducto, así como el gran volumen de acero estructural, con cerca de 20.000 t, indujo al Contratista a proponer a la Dirección de obra el

reparto de la fabricación entre dos grupos de talleres. Medio viaducto se fabrica en los talleres de Ascamón y Joama en Asturias. La empresa encargada del montaje en obra de dicho tramo será MASA, quién a su vez coordina los trabajos de los dos talleres. La otra mitad del viaducto, se arma en los talleres portugueses de Martifer, empresa que también se encargará del montaje en obra de su tramo (Fig. 3).



Figura 3. Ubicación de talleres que participan en la ejecución de la estructura metálica del Viaducto.

Con objeto de poder manipular, fabricar y transportar los elementos metálicos a obra, las celosías metálicas del tablero se descomponen en los elementos simples siguientes (Fig. 4): nudos superiores, cordones superiores, diagonales, nudos inferiores, cordones inferiores, montantes horizontales y arriostramientos en cruz.

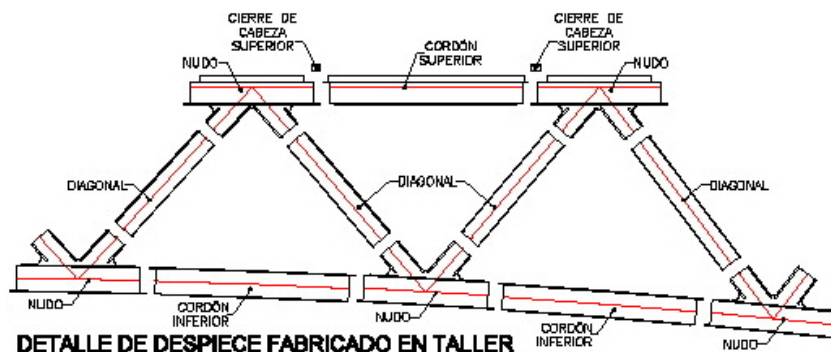


Figura 4. Despiece de elementos simples en la fabricación en taller

Una vez ejecutados estos elementos individuales de cada dovela, en función de cada caso y previamente al transporte a obra, se sueldan en subconjuntos mayores: nudo+cordón, o nudo+cordón+nudo. Estos subconjuntos y el resto de elementos simples (diagonales, montantes horizontales y arriostramientos) se transportan a obra para posteriormente terminar de ejecutar, en los parques de montaje de obra, las dovelas de la celosía.

Para poder realizar las labores de ensamblaje de las piezas individuales y los subconjuntos armados en taller, se han tenido que ejecutar unas importantes instalaciones fijas de montaje en ambos márgenes del puente (Fig. 5), además de unas amplias zonas de acopio y montaje en la sombra del viaducto entre las pilas P-9 y el E-2, y en una zona cercana con acceso a la ría por medio de un pantalán.

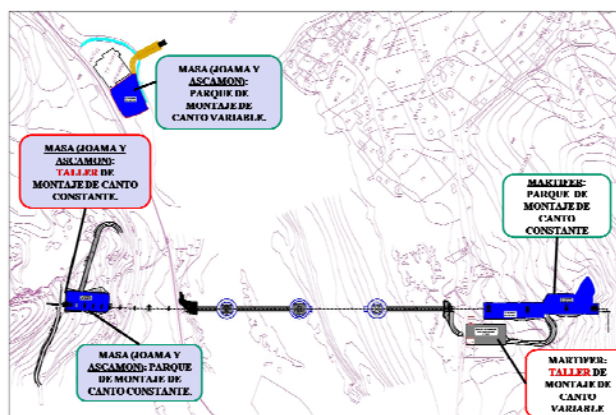


Figura 5. Ubicación de talleres de ensamblaje de piezas y parques de montaje a pie de obra.

Las importantes dimensiones de las dovelas metálicas, con 8,75 m de canto en la zona de canto contante y hasta 17,5 m en la zona de canto variable, han obligado a establecer unas naves de obra de dimensión más parecidas a las instalaciones fijas de un taller metálico, con más de 20 m de gálibo libre, que a una instalación provisional de obra (Figs. 6 y 7).



Figura 6. Naves de ensamblaje de piezas del lado de Catoira (Lado Pontevedra). Montaje en obra Masa y fabricación en taller Ascamón y Joama.



Figura 7. Nave de ensamblaje de piezas del lado de Rianxo (Lado A Coruña). Fabricación Martifer.

3. Planteamiento del Control de Calidad en el PPTP del proyecto.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (P.P.T.P.) del Proyecto licitado ya establecía las bases generales que han servido para desarrollar en obra el control de ejecución de la estructura metálica, que se describe con detalle en los sucesivos apartados.

La base de todo el sistema se fundamenta en asignar al Contratista la responsabilidad 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 ejecución de estructuras metálicas [4] , para lo cual, el P.P.T.P. establecía la posibilidad de que el Contratista se encargase directamente de realizar, y acreditar, todo el control establecido en el Pliego o bien asumir como suyos los autocontroles del taller metálico y contrastarlos con al menos un 20% de ensayos y controles de contraste. El precio de la unidad incluía, por tanto, todos los costes relativos a la realización de estas tareas de Control, por parte del Contratista.

Este planteamiento del control de calidad es la que se está incorporando en la próxima revisión de los artículos del PG-3 relativos a puentes.

4. Organización del control de ejecución de la estructura metálica del viaducto.

El marco de juego general establecido en el P.P.T.P. del Proyecto licitado ha obligado al Contratista a exigir a cada uno de los dos grupos de talleres a cumplir con el 100% de los requisitos de control establecidos en el Pliego del citado Proyecto, y a contar con una Entidad de Control independiente (Alfainstant), con presencia permanente en los talleres y en la obra, que se responsabiliza de la acreditación, en nombre del Contratista, frente a la Dirección de obra la conformidad de la ejecución de la estructura metálica.

Esta Entidad de Control independiente supervisa y valida todo el proceso de ejecución de la estructura metálica en talleres y en obra, desde el encargo y recepción de los materiales, las homologaciones de soldadores y cualificaciones de los procedimientos de soldadura, pasando por la revisión de todos los controles de ejecución y ensayos no destructivos (E.N.D.) que realizan los talleres.

Además de supervisar y auditar continuamente a los talleres metálicos y su sistema de control de calidad, la Entidad de Control del Contratista realiza al menos un 20% de controles de contraste. Estos controles de contraste no se limitan sólo a repetir ensayos no destructivos (líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonidos, o radiografías), sino que se incide, de forma muy intensa, en la fase de control de ejecución: corte de chapas, preparaciones de bordes (biseles), controles dimensionales, controles visuales previos a la soldadura, controles geométricos y de los procesos de montaje en blanco, etc...

Adicionalmente al sistema de control del Contratista, la Dirección de obra cuenta, además, con una Asistencia Técnica (TYPESA), en la que está incorporado el proyectista como asesor especializado en estructuras metálicas (IDEAM), así como con otra Entidad de Control de Calidad independiente (Applus), que se encarga de auditar todo el sistema de control de ejecución del Contratista, además de su contraste mediante un porcentaje adicional (del orden del 20%) de controles de ejecución y de controles de soldaduras, con el apoyo de un Laboratorio de Control que realiza E.N.D. aleatorios.

Todo el sistema de control del Contratista queda perfectamente recogido en 3 PPI's (Programas de Puntos de Inspección), de ejecución en taller metálico (en Asturias o en Portugal en este caso), en taller de obra, y por último el PPI de montaje en obra, en los cuales se establecen los porcentajes de control que realiza el taller metálico mediante su autocontrol, junto con los controles de contraste que realiza la Entidad de Control del Contratista.

El Plan de Aseguramiento de Calidad (P.A.C.) del Contratista, establece los sistemas y mecanismos de control, así como el organigrama y las funciones y responsabilidades de todos los agentes implicados en la fabricación y el control de calidad, y fija también los mecanismos para abrir incidencias de ejecución y no conformidades.

Una incidencia de ejecución es un fallo o no conformidad detectada por el taller metálico durante alguna de las fases del proceso de fabricación de la estructura metálica. Una incidencia se comunica siempre, independientemente de su importancia, a la Entidad de Control del Contratista, y a la Entidad de Control de la Dirección de obra. Si la importancia es menor, el taller metálico informa sobre la incidencia, la documenta y la resuelve, sin necesidad de tener que parar la producción. Si, en cambio, la incidencia presenta mayor transcendencia, se comunica a las dos Entidades de Control y se consensua la solución mediante la propuesta previa de reparación por parte del taller metálico y la Entidad de Control del Contratista.

Un fallo o defecto de ejecución detectado por la Entidad de Control del Contratista que el control de calidad del taller ha pasado por alto, implica una no conformidad.

Una no conformidad se puede abrir, también, si el taller metálico está detectando incidencias de ejecución de manera repetida en un mismo proceso, como por ejemplo, un fallo repetitivo en el control dimensional de las piezas, o en el control de ultrasonidos de una soldadura tipo, ya que ello implica que algo está fallando de manera sistemática y requiere una actuación como el replanteamiento del proceso de ejecución o del proceso de control, con mayor calado que la simple reparación puntual de un fallo o defecto individual.

Ante una no conformidad abierta por el Contratista, se debe de parar, documentar la no conformidad, analizar la causa y proponer no sólo una solución puntual, sino una medida correctora que evite su repetición sistemática. Sólo tras la validación de la propuesta por parte de la Entidad de Control de la Dirección de obra, se permite continuar con la reparación y la producción.

En cada uno de los controles establecidos en los PPI's se establecen las normativas específicas de control, así como los criterios de aceptación de los controles. Este punto es fundamental coordinarlo antes del inicio de los trabajos, para que todos los estamentos implicados en el control de ejecución tengan claro los criterios para controlar y cuáles son los baremos que servirán para validar cada control específico. En esta obra, y de acuerdo con las normativas de ejecución europeas, se ha decidido tender a un control basado en normas UNE-EN y en normas EN (en caso de no existir la correspondiente norma UNE-EN). Sólo en los casos que de no existir una norma UNE-EN ó EN se ha recurrido a alguna normativa específica de control diferente (principalmente americanas: AWS, ect.)

Finalizado el trabajo de soldadura, sólo se autoriza la salida de cada pieza simple o subconjunto de los talleres metálicos, o de cada dovela metálica de las naves de montaje en obra, respectivamente, tras haberse documentado y acreditado por completo la conformidad de todos los controles de ejecución y todos los E.N.D. establecidos en el PPI correspondiente.

5. Desarrollo de los planos de taller de la estructura metálica.

La complejidad de la obra, la gran dispersión de talleres, y los múltiples agentes implicados en el control, han conducido a la necesidad de crear, por parte del Contratista, la figura del Coordinador de Ejecución de la Estructura Metálica.

Este coordinador es el principal interlocutor frente a la Dirección de obra y su Asistencia Técnica, en los aspectos relacionados con la estructura metálica. Entre otras, una de sus principales misiones es la de coordinar cualquier tipo de propuesta técnica de adaptación, modificación o ajuste de algún detalle entre los dos grupos de talleres, ya que las decisiones son únicas y no se admiten diferencias entre distintos tramos del viaducto, con independencia del taller encargado de su fabricación.

Otro aspecto fundamental en el que se basa todo el control de ejecución es el sistema de aprobación y validación de los planos de taller de la estructura metálica.

Los talleres metálicos desarrollan los planos del proyecto en los planos de taller y las hojas de despiece. El responsable de acreditar la conformidad de los planos de taller y las hojas de despiece es el Contratista, quien a su vez cuenta con un consultor de Apoyo Técnico especializado en estructuras (Fhecor) que se encarga y responsabiliza de realizar dicha labor. Una vez que los planos de taller se han aprobado, se remiten a la Asistencia Técnica a la Dirección de obra, quien supervisa los planos de taller y da su visto bueno o bien realiza las consideraciones que se estimen oportunas para su corrección.

La complejidad de la estructura metálica ha requerido un trabajo previo muy importante de estudio y desarrollo de una serie de detalles muy repetitivos, en común entre todas las partes implicadas, para el desarrollo de los planos de taller (talleres metálicos, Contratista y su Apoyo Técnico, junto con el Proyectista que asiste técnicamente a la Dirección de obra), de manera que los planos de taller resuelven todos los encuentros, soldaduras, transiciones y detalles específicos, evitando así problemas futuros durante la ejecución.

Los planos de taller del viaducto contienen de forma completa y explícita:

- la subdivisión en piezas individuales de la estructura metálica (nudos, cordones, diagonales, montantes, etc.) por razones de manipulación en taller, transporte y montaje en obra;
- las subdivisiones en conjuntos, dovelas y tramos;
- la acotación de todas las dimensiones que definen completamente todos los elementos y detalles de la estructura, incluyendo las contraflechas y contragiros;
- la definición de las clases de acero, así como la indicación de los pesos y marcas de trazabilidad de cada uno de los elementos de la estructura;
- la forma y geometría de todas las uniones soldadas, incluso de las uniones provisionales para fabricación y montaje, incluyendo;
 - la geometría y dimensiones de las chapas de la unión y sus preparaciones de bordes,
 - la apertura de raíz, y talones tanto para soldaduras a tope como en ángulo,
 - todas las transiciones y detalles específicos de finalización de las soldaduras, suavizados, amolados, etc...
- la posición y radio de todos los ojales para el cruce de soldaduras.
- la definición completa de todos aquellos elementos auxiliares necesarios para la manipulación, fijación, volteo, transporte, izado, etc. de los elementos principales, tanto

durante su fabricación en taller, como durante su transporte, ensamble o montaje en obra;

- la posición y calidades de los pernos conectadores;
- las zonas con pintura exterior, pintura interior, y las zonas que estarán en contacto con hormigón que no se pintan.

En ningún caso se aceptan detalles tipo, adimensionales o tabulados, que no representen en verdadera magnitud los espesores, geometrías, ángulos de incidencia, separaciones libres, talones y biseles de las chapas en cada uno de los encuentros de soldadura específicos, evitando así un gran número de posibles problemas futuros de ejecución.

Los 131 planos del proyecto, que definían con detalle la estructura metálica, se desarrollan en más de 5000 planos de taller y cerca de 18000 hojas de despiece, definiendo con toda exactitud cada una de las chapas, encuentros y soldaduras del puente. Este importante desarrollo de ingeniería es imprescindible para poder garantizar de la correcta concepción de todos los detalles, que deben cumplir requisitos muy estrictos relativos a la resistencia a fatiga al tratarse de un viaducto mixto de alta velocidad.

Un claro ejemplo del desarrollo de los detalles en los planos de taller son los detalles que se representan en las figuras siguientes. La figura 8 muestra el detalle de transición de la soldadura en ángulo entre el ala y alma de una diagonal en su confluencia con el nudo de la celosía donde el ala de la diagonal pasa a soldarse con el alma del nudo a penetración parcial, y aparece un doble ojal en planta y alzado, que se resuelve con transiciones y amolados suaves de los extremos de las soldaduras.

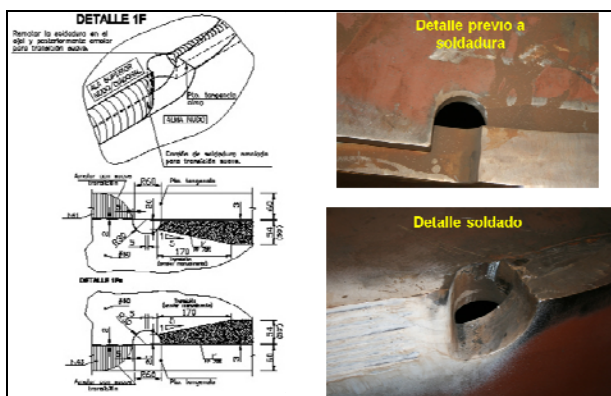


Figura 8. Transición en la zona de inserción de las alas de diagonales en los nudos.



Figura 9. Extremo de alma central en nudos, con ojal en el extremo y transiciones de soldaduras.

La figura 9 muestra el detalle del extremo de soldadura del alma central de un cordón en el interior de un nudo, donde la soldadura a penetración parcial se mata, con una transición suavizada en un ojal perfectamente acotado dispuesto al final del alma.

La figura 10 muestra el detalle de la transición del alma central en su encuentro con el nudo, con una transición suave de biseles, pasando de preparaciones en V sólo en el ala de la diagonal a preparar el ala de la diagonal y el alma central.

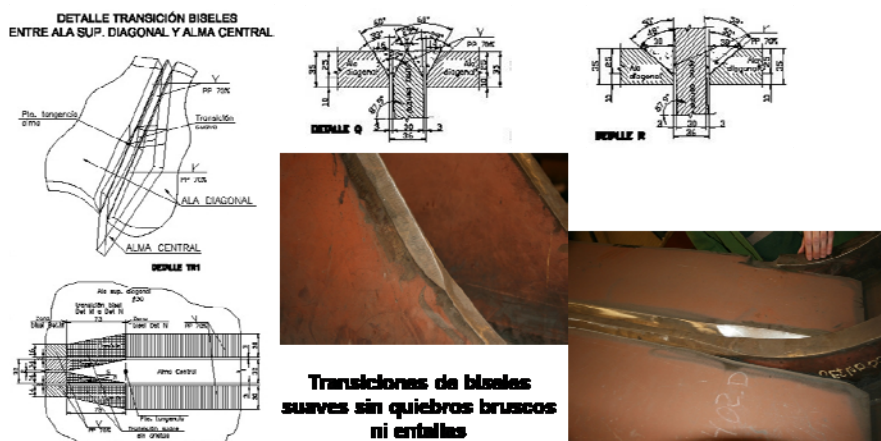


Figura 10. Detalle de transiciones de bisales suavizados en confluencia de alma central en nudos.

6. Planos de montaje

El desarrollo de la estructura metálica no se limita exclusivamente a los planos de taller y las hojas de despiece, sino que además se han desarrollado, para cada elemento tipo (nudos superiores, cordones superiores, diagonales, nudos inferiores, cordones inferiores, montantes superiores e inferiores y arriostramientos en cruz), los planos de montaje (Fig. 11) que permitan:

- la definición de las bancadas de montaje,
- la definición completa del orden y secuencia de ejecución de las soldaduras, incluso de los punteos para el armado,
- el procedimiento, método y posiciones de soldeo,
- los pretratamientos térmicos en las soldaduras,
- los elementos auxiliares necesarios para arriostrar provisionalmente las chapas de cada elemento, (no se suelda nada a los elementos definitivos),
- los útiles de volteo de piezas, y todos aquellos elementos auxiliares necesarios para la manipulación,
- todas las fases intermedias por las que pasa cada elemento individual, subconjunto, o dovela durante el montaje.

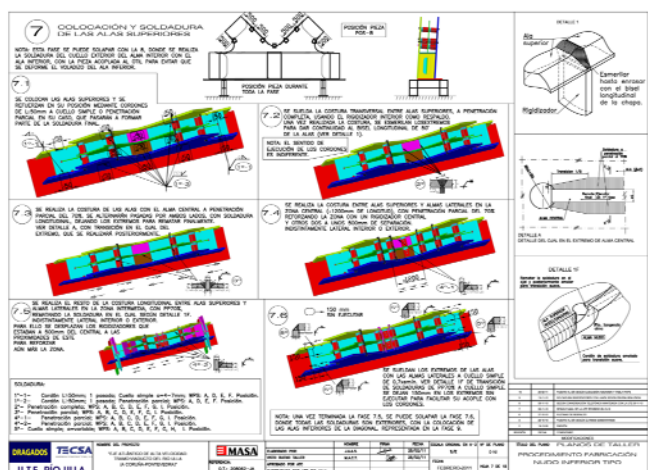


Figura 11. Detalle de uno de los planos de montaje de un nudo inferior.



Figura 12. Vista de un nudo tumbado con el útil de izado y volteo en su extremo.

Un resultado importante en esta obra ha sido el lograr evitar el uso de orejetas o elementos auxiliares soldados a las piezas durante su ejecución en taller. Cualquier medio auxiliar soldado a un elemento definitivo del puente es susceptible de empeorar la categoría de fatiga de la pieza, por este motivo se ha propuesto manipular cada elemento sin la necesidad de soldar medios auxiliares, gracias al diseño de unos útiles de izado y volteo (Fig. 12) que permiten su reutilización en el resto de los diferentes nudos, cordones, diagonales, etc... Esta decisión se ha demostrado además muy acertada y eficaz dada la modularidad de la estructura, con multitud de elementos con geometría exterior idéntica.

De cualquier manera, en los casos que se hace necesario disponer orejetas para el montaje en obra de dovelas de mayores dimensiones, siempre se definen en planos de taller con detalles adecuados a fatiga y su retirada se hace siguiendo los procedimientos específicos de retirada y reparación con un intenso control posterior mediante ultrasonidos, o en su caso, radiografías.

7. 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.

Entidad de Control del Contratista: Alfainstant.

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.

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. 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*. Gratz. Austria 3-5 Sept. 2008. pp. 147-152 Vol. A.
- [2] MILLANES F., MATUTE L., ORTEGA M., 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] 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.
- [4] EN 1090-2:2008. Execution of steel structures and aluminium structures. Technical requirements for the execution of steel structures.