

Puente de la Concordia: ejecución de la estructura metálica

Concordia Bridge: steel structure execution

Miguel Ortega Cornejo^a, Jesús Martín Suárez^b, Juan Luis Mansilla Domínguez^c,
Carlos Bajo Pavía^d, Juan José Sanchez Ramírez^e y Pablo Loscos Areoso^f

^a Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. TYLin. Director General. miguel.ortega@tylin.com

^b Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. TYLin. Director de la División de Inspección, Mantenimiento y A.T. jesus.martin@tylin.com

^c Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. TYLin. Jefe de proyectos senior. juanluis.mansilla@tylin.com

^d Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Ferrovial Construcción S.A. Jefe de Área de Estructuras de Obra Civil. carlos.bajo@ferrovial.com

^e Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Ferrovial Construcción S.A. Jefe de Dep. de Estructuras de Obra Civil. jj.sanchez@ferrovial.com

^f Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Ferrovial Construcción S.A. Coordinador de proy. de Estruct. de Obra Civil. ploscos@ferrovial.com

RESUMEN

El Puente de la Concordia es un arco bowstring biempobrado, con una luz principal de 162 m y longitud total 214 m. El tablero y arco del puente son secciones mixtas de acero y hormigón y se conectan entre sí mediante el diagrid formado por una sucesión de tubos metálicos huecos cruzados. En la ejecución de la estructura metálica destacamos la ingeniería de detalle desarrollada para el modelizado y elaboración de los planos de taller y de los procedimientos de fabricación, transporte y montaje en obra del acero. La singularidad y responsabilidad de la estructura metálica ha exigido la implantación de un sistema de control de ejecución, especialmente de las soldaduras y geometría, acorde a la normativa de referencia.

ABSTRACT

The Concordia bridge is an embedded bowstring arch with a main span of 162 m and a total length of 214 m. The deck and arch of the bridge are composite sections of steel and concrete and are connected to each other by the diagrid formed by a succession of crossed hollow steel tubes. In the execution of the steel structure, we highlight the detailed engineering developed for the modelling and preparation of the workshop drawings and the procedures for manufacturing, transporting and assembling the steel on site. The uniqueness and responsibility of the steel structure has required the implementation of an execution control system, especially for the welding and geometry, in accordance with regulations.

PALABRAS CLAVE: Arco bowstring, acero, hormigón, ingeniería detalle, soldadura, fatiga, control.

KEYWORDS: Bowstring arch, steel, concrete, detail engineering, welding, fatigue, control.

1. Introducción

El Puente de la Concordia, con una luz principal de 162 m y longitud total 214 m, que lo convierte en el puente de mayor luz de la Comunidad de Madrid, se ha posicionado tras la finalización de la obra en este año 2021 en un puente emblemático de entrada a la ciudad de Madrid.

Su concepción ha surgido siguiendo criterios funcionales, estéticos y de eficiencia estructural [1] [2].

El resultado es un arco bowstring metálico con tablero mixto, cuya forma está inspirada en el diseño industrial, armonizando con la Terminal T4 del Aeropuerto de Barajas. El

puente presenta una conexión innovadora entre arco y tablero: diagrid, una malla metálica que adecuadamente combinada con la iluminación dotan al puente de una personalidad singular.



Figura 1. Vista general del Puente de la Concordia.

El proceso constructivo, especialmente la maniobra de traslado del tramo central del puente sobre plataformas autopropulsadas, ha supuesto un reto de ingeniería y ha permitido minimizar las afecciones en el tráfico de las vías sobre las que cruza el puente y en el entorno ambiental.

2. Descripción de la estructura del Puente de la Concordia

2.1 Tablero

El tablero está formado por una sección metálica cajón multicelular, de canto constante de 3 m, máximo en el eje de la sección, sobre la que se dispone una losa de hormigón, también de canto constante de 0,25 m de espesor. El acero es de tipo S355 J2+N, con un límite elástico de 355 N/mm².

El fondo de la sección sigue una curva circular en los 60,00 m centrales, prolongándose, mediante rectas tangentes a esta curva, hacia los laterales. En los extremos, el fondo del tablero se remata mediante una pieza metálica que integra las impostas semicirculares y los petos-barreras, ligeramente inclinados respecto a la vertical. El tablero queda dividido internamente en 5 células al disponerse 4 almas internas. Sobre cada una de las almas, se suelda una platabanda superior rectangular, sobre la que se disponen los pernos de conexión entre el tablero

metálico y la losa de hormigón superior, para materializar una sección mixta.

Transversalmente, dentro de la sección del cajón y cada 5 m, se disponen riostras con un sistema estructural en celosía que permiten reunir las acciones de las cargas excéntricas y transmitir las hasta el centro del tablero, donde son recogidas por los planos de sustentación de éste, o diagrid, que a modo de péndolas inclinadas las cuelgan del arco (Figura 2).

2.2 Arco

Todo el tablero queda sustentado por el arco, que con una flecha estructural de 10,30 m y considerando exclusivamente la longitud del tablero situada por debajo del arco, de 124 m, nos proporciona una relación flecha-luz de 1/12.

La sección del arco es casi rectangular, abandonando esta geometría en la zona superior, donde se disponen sendos salientes para poder recoger los planos de diagrid. El canto del arco es constante, de 1,50 m, mientras que el ancho varía linealmente desde los 4 m en el encuentro con el tablero, hasta los 2,00 m que presenta en la clave. Está formado por acero S355J2+N, con espesor máximo en la clave, donde la sección es más reducida y mínimo en el entronque con el tablero, donde alcanza su mayor dimensión. El interior del arco queda relleno de hormigón autocompactante tras materializar la conexión del tramo central con los arranques de ambos estribos, conformando una sección mixta que permite optimizar las características resistentes y de puesta en obra de ambos materiales.



Figura 2. Vista general de la plataforma del tablero, arco, diagrid e imposta del Puente de la Concordia.

Por debajo del tablero, el arco se prolonga hasta alcanzar los apoyos, abriéndose en anchura, y manteniendo el contacto con el tablero, configurando un tímpano triangular volumétrico (bulbo), de gran potencia formal.

2.3 Diagrid

La conexión del tablero con el arco se realiza mediante una malla o celosía de perfiles tubulares rectangulares de acero S355 J2H, denominada “diagrid”. Su misión estructural consiste en trasladar las cargas verticales actuantes sobre el tablero hasta el arco. Tiene, por tanto, un comportamiento básico a tracción, dado que su trabajo a cortante como alma de una viga en T invertida se ve drásticamente reducido por la componente inclinada de la compresión del arco y la propia rigidez a flexión del tablero-tirante.

Cada malla de diagrid está formada, a su vez, por dos familias de perfiles tubulares, dispuestos perpendicularmente entre sí, colocados en el mismo plano y dispuestos a 45° respecto la horizontal. A cada lado del arco se colocan dos planos de diagrid, cada uno en un sentido, y ligeramente inclinados, decalándose entre sí, y configurando en conjunto una malla en relieve, con el doble de elementos que una malla simple y la mitad de separación entre elementos.

La conexión del diagrid al tablero y al arco se realiza mediante la soldadura de los perfiles a estos elementos. En el caso del tablero, se prolongan hacia el exterior las dos almas centrales del tablero mediante una chapa en forma de peine, a las que se sueldan todos los perfiles de la malla. En el caso del arco, la unión se realiza directamente, soldando los perfiles tubulares a las chapas exteriores del arco. La conexión mediante soldaduras en ángulo laterales de las aristas de los tubos, trabajando longitudinalmente, es segura y muy sencilla de ejecución y control en obra.

3. Procedimiento de fabricación, transporte y montaje de la estructura metálica

La ejecución de la estructura metálica se ha desarrollado gracias a un importante trabajo de ingeniería de detalle, consistente en el modelado tridimensional y delineación en detalle de las dovelas en planos de taller, así como la definición y justificación de los procedimientos de fabricación, transporte y montaje en obra de cada uno de los subelementos de la estructura metálica, definiendo de forma precisa la secuencia de armado de chapas y los detalles y procedimientos de soldeo.

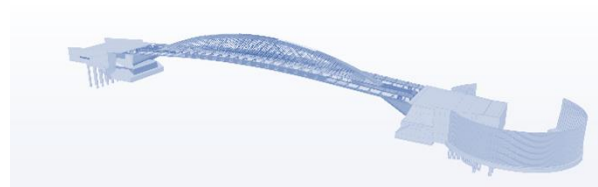


Figura 3. Modelo BIM completo del Puente.

Destacamos la aplicación de sistemas BIM en ejecución de la estructura, como una forma de trabajo innovadora que ha permitido a todo el personal involucrado en un proyecto trabajar de manera colaborativa, con un intercambio de información completamente fiable, transparente y actualizado.

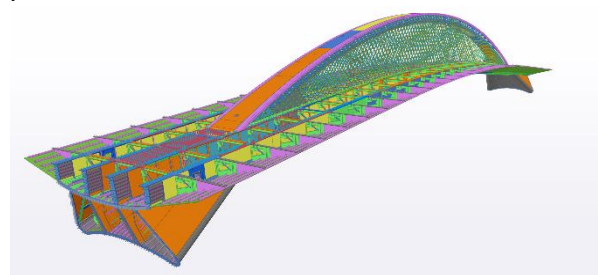


Figura 4. Modelo 3D de la estructura metálica.

3.1 Fabricación en taller

La complejidad de la obra, y la clase de ejecución de la estructura metálica han requerido la participación de talleres metálicos cualificados y con experiencia previa acreditada. Los primeros elementos de la estructura fueron fabricados por EMESA y, posteriormente, DIZMAR fabricó y

montó en obra la práctica totalidad del tablero y del arco del puente.



Figura 5. Fabricación de un subconjunto del tablero.

Con objeto de poder manipular, fabricar y transportar los elementos metálicos a obra, la estructura metálica del tablero y del arco se han descompuesto en los elementos simples: Arco, Tablero, Bulbos, Diagrid e Imposta

El arco se ha fabricado en 6 subconjuntos tipo cajón para envío a obra.

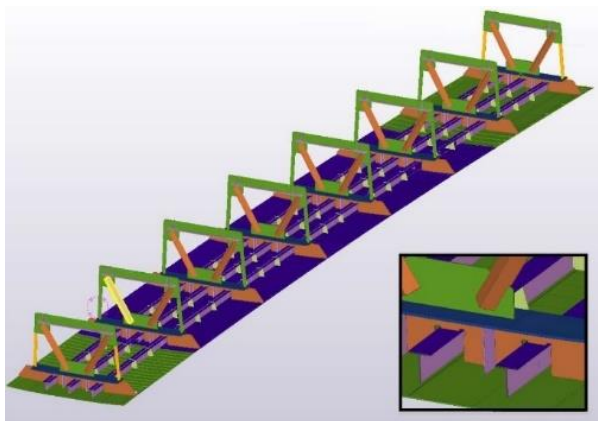


Figura 6. Secuencia de armado del tablero.



Figura 7. Fabricación de un subconjunto del arco.

El tablero se dividió en 6 tramos, que a su vez se dividieron en 5 subconjuntos para envío a obra: Tablero Lateral Izquierdo, Tablero Intermedio Izquierdo, Tablero Central, Tablero Intermedio Derecho y Tablero Lateral Derecho (total 30 subconjuntos). Cada Bulbo se dividió en 7 piezas para envío a obra. Los tubos de

diagrid se fabricaron y enviaron como elementos sueltos a la obra.

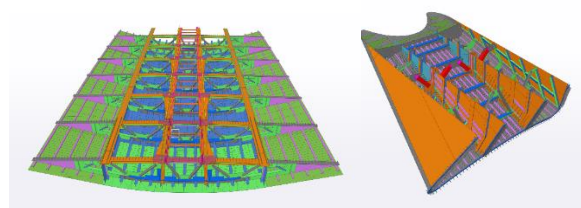


Figura 8. Modelo del tablero y del bulbo.

En líneas generales, la secuencia de armado de los subconjuntos tipo cajón del tablero y del arco fue la siguiente: unión entre chapas principales de almas, fondos, techos y platabandas, montaje de rigidizadores longitudinales, montaje de celosías transversales, soldaduras de pernos conectadores, ensamblaje final y pintura.

Se prestó especial atención en los procedimientos de soldeo con objeto de minimizar las tensiones residuales y deformaciones asociadas a las soldaduras. En este sentido, destacamos la fabricación de los elementos intermedios del tablero (Figura 5), que por su asimetría, exigió un estudio específico del procedimiento de soldeo del alma con la chapa de fondo (contracción de las soldaduras) que evitara deformaciones no admisibles en los extremos libres de la propia chapa de fondo y de las celosías y garantizar el correcto ajuste y montaje en obra con los tramos adyacentes. Las piezas fabricadas en taller se enviaron en obra mediante transportes especiales.



Figura 9. Transporte a obra de los subconjuntos.

Previamente se realizó un análisis de los sistemas de izado y apoyo de las piezas para evitar afecciones estructurales durante el transporte y descarga en obra.

3.1 Montaje en obra

La estructura metálica de los bulbos y de los tramos del tablero situados en los arranques de los estribos se montaron directamente con grúa sobre unas torres de apeo. Tras materializar la conexión con el hormigón del cartabón y proceder al tesado, se eliminaron los apeos.

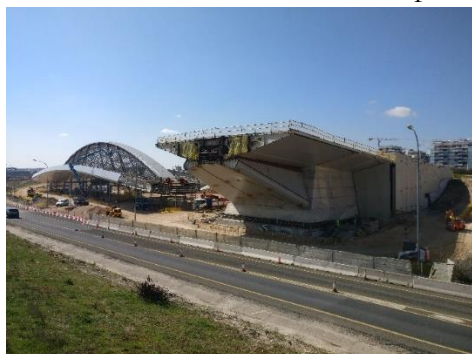


Figura 10. Arranque del tablero en estribo 1.

El tramo central del tablero, el arco, el diagrid y la imposta se montaron en una campa habilitada en el lateral de la autopista M-12 sobre un sistema de torres de apeo.

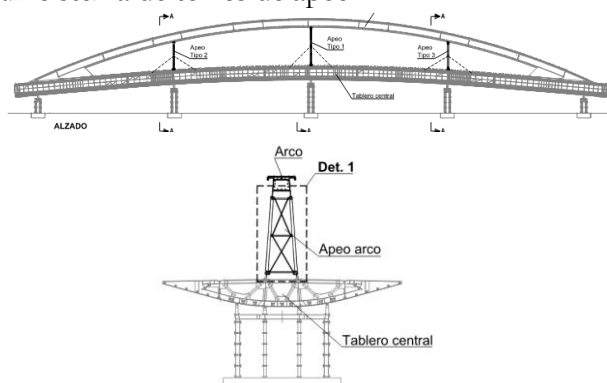


Figura 11. Esquema del apeo del puente en obra.

Los 30 subconjuntos del tablero se montaron con grúa de forma secuencial desde el centro del eje del puente hacia los exteriores, ajustando la longitud de cada pieza en obra cortando las demasías de fabricación que se habían dejado en taller.



Figura 12. Montaje de estructura metálica en obra.

La estructura metálica montada en la campa disponía de puntos fijos longitudinales y transversales, con capacidad de movimiento de los apoyos extremos para deformaciones térmicas. Los seis tramos del arco se montaron desde los arranques hacia la clave, de forma simultánea al montaje de tablero y con el objetivo de favorecer la posición de las grúas y el acceso en altura. Tras el hormigonado del interior del arco y su desapeo controlado de las torres que apoyaban en el tablero se realizó la conexión de los tubos del diagrid entre el arco y el tablero y se montó la imposta en ambos laterales.



Figura 13. Montaje de la estructura metálica en obra.

Todas las fases de montaje y soldeo en obra estaban analizadas y justificadas en procedimientos específicos encaminados a detallar la secuencia de las operaciones que siendo compatible con los criterios de diseño, minimizara las afecciones metalúrgicas y deformaciones de la estructura metálica.

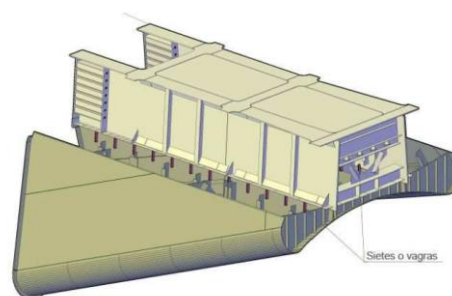


Figura 14. Procedimiento de montaje en obra.

Posteriormente se trasladó todo el conjunto central del puente con carretones a su posición definitiva y se conectó con los tramos de arranque mediante cupones soldados, para

dar continuidad a las chapas principales del cajón.

Las operaciones de montaje en obra se realizaron con grúas, tras un análisis detallado de los medios auxiliares y colocación en la estructura de los refuerzos pertinentes.

3.1 Control geométrico. Montaje en blanco

La geometría singular y dimensiones de la estructura metálica del puente han requerido un estricto control geométrico de todas las operaciones de fabricación y montaje, coordinado entre los equipos del autocontrol del taller, control de contraste de la Constructora y control de la Asistencia Técnica a la Dirección de Obra.

Las principales operaciones de control geométrico en la estructura metálica han sido: control de corte y preparación de bordes de las chapas, control de armado de subconjuntos, control de bancadas de montaje, control de contraflechas, control de soldaduras (previo midiendo el “fit up” y tras su ejecución), control subconjunto terminado en taller y control evolutivo en obra del montaje de la estructura confirmando las deformaciones teóricas del modelo de cálculo.

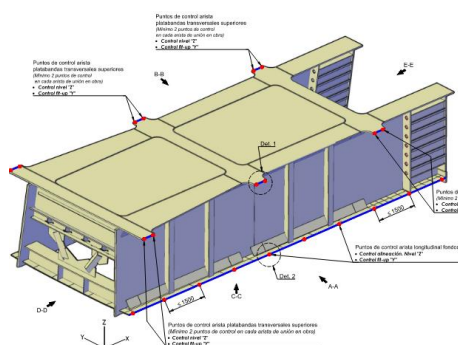


Figura 15. Procedimiento de control geométrico.

Dentro del control geométrico en taller destacamos el montaje en blanco entre sí de los subconjuntos fabricados para confirmar tanto la geometría global de la estructura, como los detalles de unión local entre chapas (“fit up” de las uniones soldadas), previo a su envío a obra. Los montajes en blanco se han materializado

físicamente directamente en bancadas en taller, presentando entre sí diferentes subconjuntos.



Figura 16. Montaje en blanco físico en taller de las 7 piezas del bulbo.

Adicionalmente, también se han realizado montajes en blanco virtuales, a partir de toma de datos topográficos de cada subconjunto tras su fabricación, y siempre habiendo contrastado el procedimiento previamente mediante montajes en blanco físicos.

En las diferentes operaciones de control topográficas, y para la singularidad de los diferentes elementos que se fabrican, se han definido y justificado las tolerancias admisibles, tomando como referencia la normativa de referencia, los condicionantes metalúrgicos asociados a las uniones soldadas y la responsabilidad estructural.

En la colección de planos de taller se han implementado las dimensiones básicas de control geométrico registrables, estableciendo las acotaciones pertinentes y las tolerancias a considerar en cada medida para dinamizar los procesos de control.

3.1 Planos de taller y montaje

La complejidad de la obra 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, quién ha sido el principal interlocutor frente a la Dirección de Obra y su Asistencia Técnica, en los aspectos relacionados con la estructura metálica.

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 ha contado con sus servicios técnicos que se han encargado 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, que supervisa los planos de taller y da su visto bueno o bien realiza las consideraciones que se estimen oportunas para su corrección.

En ningún caso se han aceptado 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 de ejecución.

Adicional al desarrollo de los planos de taller y las hojas de despiece, se han desarrollado planos de montaje para cada elemento tipo (subconjuntos del tablero, arco, bulbos, diagrid e imposta), definiendo en ellos: las bancadas de montaje, el orden y secuencia de ejecución de las soldaduras, incluso de los punteos para el armado, el procedimiento, método y posiciones de soldeo, los elementos auxiliares necesarios para arriostrar provisionalmente las chapas de cada elemento, los útiles de montaje de piezas, y todos aquellos elementos auxiliares necesarios para la manipulación, todas las fases intermedias por las que pasa cada elemento simple, subconjunto, o dovela durante el montaje.

4. Detalles de especial relevancia de la estructura metálica

La ingeniería de detalle durante la obra ha permitido resolver de forma satisfactoria los despieces de chapas y los detalles de soldadura, de acuerdo con los requerimientos estructurales

de proyectos, considerando las necesidades a fatiga (categoría mínima 71 exigida en el Puente de la Concordia) intrínsecas en las estructuras metálicas [5] y, además, respondiendo a las necesidades de optimizar los procesos de fabricación y soldeo del taller metálico.

A continuación, se resumen los detalles de la estructura metálica que han requerido un especial análisis en la fase de ingeniería de detalle, especial control durante la ejecución y que necesariamente se deberá prestar especial atención durante la inspección y mantenimiento de la estructura.

4.1 Uniones a tope entre chapas principales

Las uniones soldadas a tope entre chapas principales son un punto potencial de posibles daños de la estructura durante la vida en servicio, especialmente por el comportamiento frente a fatiga en elementos traccionados.

Estas se encuentran de manera significativa en las costuras transversales de las chapas principales (platabanda superior, chapa de fondo, almas centrales y laterales, células superior e inferior del cajón, así como en costillas transversales y en el arco) para dar continuidad a los diferentes elementos que conforman la estructura metálica.



Figura 17. Detalles de uniones a tope en tablero.

Es muy recomendable concebir la estructura metálica, siempre que sea posible, evitando el empleo de soldaduras con acceso

sólo por un lado, lo cual obliga irremediablemente al empleo de chapas de respaldo metálicas. Siempre que sea posible es conveniente ejecutar las soldaduras con acceso por ambos lados con detalles con preparación de bordes en X, o bien en V mediante el empleo de backing de respaldo provisional cerámico pero con el saneo posterior de la soldadura en la raíz, ya que la ejecución de soldaduras a tope con chapa metálica de respaldo, además de ser peor detalle de fatiga, puede generar una serie de problemas de ejecución, inspección y mantenimiento.

4.2 Tubos de conexión entre el arco y el tablero (diagrid)

La unión del arco y el tablero se materializa con cuatro planos (dos en cada lateral del arco) de tubos rectangulares cruzados entre sí (diagrid) que principalmente trabajan a tracción. Adicionalmente, reciben una sollicitación a fatiga inducida por las cargas cíclicas del tráfico.

Además, destacamos la conexión soldada del tubo con el arco (visibles) y con el tablero (embebidos por el hormigón de la losa).



Figura 18. Detalles de diagrid.

Estos elementos son muy susceptibles a los efectos de fatiga y de corrosión (corrosión bajo tensión).

Por otro lado, mencionamos los detalles de conexión local tipo brida entre tubos de diagrid, que permiten el libre movimiento y giro entre tubos dentro de su plano, y coartan el movimiento transversal fuera de su plano.



Figura 19. Detalle conexión local entre tubos.

4.3 Detalles generales de conexión de elementos en tablero y arco

Del análisis de los detalles y uniones de la estructura que pudieran interferir en su comportamiento a fatiga, destacamos la conexión de elementos con las chapas principales (tablero y arco). Con carácter general, podemos destacar por importancia estructural:

- Unión transversal de las cartelas/almas de las costillas y rigidizadores transversales con la platabanda superior de las vigas central y lateral, con la chapa de fondo y con las almas de las vigas central y lateral del tablero. El alma del cordón inferior de las costillas es pasante respecto al alma de las vigas
- Unión a tope transversal (remate en curva) entre el ala superior de las costillas y arriostramientos intermedios con las platabandas superiores de las vigas y viceversa.



Figura 20. Detalle de transición curva en despiece de chapas de platabanda superior.

- Detalle de conexión local de las chapas del arco con las chapas del tablero.
- Detalles de cruce de los rigidizadores longitudinales de chapa de fondo con las costillas transversales del tablero.
- Detalles de soldadura longitudinales y transversales de rigidizadores verticales de almas de diafragmas trasversales con la platabanda superior y con la chapa de fondo.

- Detalle de ventana de acceso en almas de vigas laterales.

4.5 Detalle de ojal en alma con afección a chapas principales de proyecto

En la estructura existen ojales en las chapas para evitar el cruce de cordones de soldadura. Las soldaduras han sido rebordeadas en los ojales.

4.6 Detalle de zonas locales de conexión de la estructura metálica con el cartabón (conexión postesado)

En las zonas de conexión del arco con la estructura metálica del tablero y en la zona de apoyo de la estructura metálica en los estribos de hormigón, existen detalles de uniones entre chapas complejos y de responsabilidad.

4.7 Protección anticorrosiva de la estructura metálica

La protección anticorrosiva del acero de la estructura metálica del tablero, tanto por el exterior como por el interior, se garantiza mediante un sistema de pintado.

Por otro lado, se ha asegurado el sellado de la junta de contacto entre el hormigón del cartabón, el hormigón de fondo del tablero y bulbos y la losa superior, con la estructura metálica.



Figura 21. Pintura de subconjunto del tablero.

5. Control de Calidad de la estructura metálica

La singularidad y responsabilidad de la estructura metálica ha exigido la implantación de un sistema de control de ejecución, acorde a la normativa de

referencia, cuyo objetivo principal ha sido el aseguramiento de la calidad en cada una de las fases de fabricación, prestando especial atención a los detalles de soldadura y al control geométrico de armado y de montaje en blanco de los diferentes subelementos del puente.



Figura 22. Control geométrico durante el montaje

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (P.P.T.P.) del Proyecto establecía las bases generales que han servido para desarrollar en obra el control de ejecución de la estructura metálica. 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, 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.

Esta Entidad de Control independiente ha supervisado y validado 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.

Los porcentajes de ensayos exigidos en el PPI se han estudiado y ajustado a la responsabilidad estructural de cada unión soldada, particularizando y potenciando los controles en uniones a tope entre chapas a tracción en taller y obra.



Figura 23. Control geométrico en uniones.

Esta organización del sistema de calidad para la fabricación de la estructura metálica ha sido previamente acreditada en obras como la del Viaducto sobre el río Ulla [3] o la del Viaducto de Archidona [4].

6. Conclusiones

La estructura metálica del Puente de la Concordia destaca por su calidad técnica y elegancia, y satisface con éxito las necesidades y expectativas del cliente.

La ejecución y el control de calidad llevado a cabo ha permitido el cumplimiento de las exigencias del proyecto y de la normativa de referencia.

Estas cualidades del proyecto han quedado reconocidas con el Premio COAM 2023, y finalista de los premios internacionales de IABSE 2022 en la categoría de innovación en la construcción.



Figura 24. Vista general del Puente de la Concordia.

Agradecimientos

En la siguiente tabla se resumen los principales participantes del proyecto:

Cliente: Junta de Compensación Parque de Valdebebas

Dirección de Obra y Asistencia Técnica durante la construcción:

IDEAM (actualmente TYLin): Francisco Millanes, Miguel Ortega, Jesús Martín, Juan Luis Mansilla, Pablo Solera, Juan Mora

Construcción: Ferrovial Construcción

Entidad de Control: Euroconsult

Taller Metálico: Dizmar y Emesa

Propuesta ganadora en el concurso de ideas y el

Proyecto Constructivo:

Ingeniería:

IDEAM (actualmente TYLin): Francisco Millanes, Daniel Martínez, Jesús Martín, Pablo Solera, Reyes García

Arquitectos:

Francisco Domouso, Lorenzo Fernandez-Ordoñez, Emilio Rodríguez

Referencias

- [1] Millanes, F.; Ortega, M.; Martínez, D.; Solera, P. 2009. El uso y desarrollo de los sistemas de suspensión de red para arcos de arco de acero. Lisboa. VII Congreso de Construção Metálica e Mista, pp. 97/106. Publicado por Cmm-Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista
- [2] F. Millanes, M. Ortega, “La Concordia” outstanding new arch bridge in Valdebebas, Madrid, IABSE Symposium: Challenges for Existing and Oncoming Structures, Prague, 2022. 1519-1526.
- [3] F. Millanes, M. Ortega, R.A. Estévez , El viaducto del río Ulla en el Eje Atlántico de Alta Velocidad: una celosía mixta récord del mundo, Hormigón y Acero. 66 (2015) 165–190.
- [4] F. Millanes, E. Bordó, J. Martín y J.L. Mansilla. Viaducto de Archidona (L.A.V.Antequera-Granada), 3.150 m de dintel mixto sin juntas de dilatación. Hormigón Y Acero, 64(270).
- [5] Ministerio de Fomento, Serie de Guías de Eurocódigos. Guía para el proyecto frente a fatiga de puentes metálicos y mixtos de carretera.