

Pasarela de Delicias en Zaragoza

1 Encaje y emplazamiento

En Zaragoza la nueva pasarela parte de la Estación intermodal del AVE de Delicias y debe cruzar el nudo de cierre del tercer cinturón para llegar al barrio de la Almozara, y desde allí al río Ebro y al recinto de la Expo, al que se puede llegar utilizando el teleférico construido con ocasión de la Expo 2008. La estructura es iniciativa de Zaragoza Alta Velocidad.

Alcanzar los 6 m de cota necesarios para cruzar sobre los viales requiere de una rampa de más de 100 m, que se desarrolla sobre apoyos directos sobre la losa de la estación bajo la cual dicurren las vías del AVE. El trazado de esta rampa se ve condicionado por esto y por las isletas en las que es posible disponer apoyos, curvándose al final de la rampa para afrontar el eje en el que el cruce del nudo es más directo.

Desde el principio se plantea que en la zona curva de rampa el tablero se bifurque en un balcón-mirador hacia el Ebro, como zona de estancia independiente del tránsito, que permita disfrutar de las vistas de las nuevas infraestructuras asociadas a la estación, al río y a la Expo 2008. El vano principal de cruce posee una luz de 90 m. Los condicionantes de gálibo llevan desde un principio a pensar en una estructura desarrollada fundamentalmente sobre rasante. Se descartan las soluciones tipo arco ya que junto a los arcos de la Estación Intermodal y con la proximidad del arco del Puente del Tercer Milenio con distintas configuraciones y orientaciones, se pensó se podría crear confusión visual. Se opta por buscar la máxima transparencia ya sea con una solución atirantada o colgante, optándose por un esquema colgante autoanclado que permite reducir la altura del mástil y no superar la altura de los arcos de la estación. El trazado curvo ayuda a un tránsito más fluido adaptado a la configuración en planta del nudo.

Desde un primer momento se pensó en situar el mástil lo más alejado posible de la estación para no competir visualmente con ésta. Sin embargo el carácter fuertemente provisional de los planteamientos en el parque lineal de la Almozara al otro lado de la estación desaconseja actuar con elementos definitivos en este punto, por la posibilidad cierta de que puedan llegar a construirse nuevos edificios en esta zona. Por tanto el mástil se dispone en una posición central aprovechando el nacimiento de la isleta central del nudo, exento con relación al tablero, y suspendiéndolo desde éste los 90 m del vano principal.

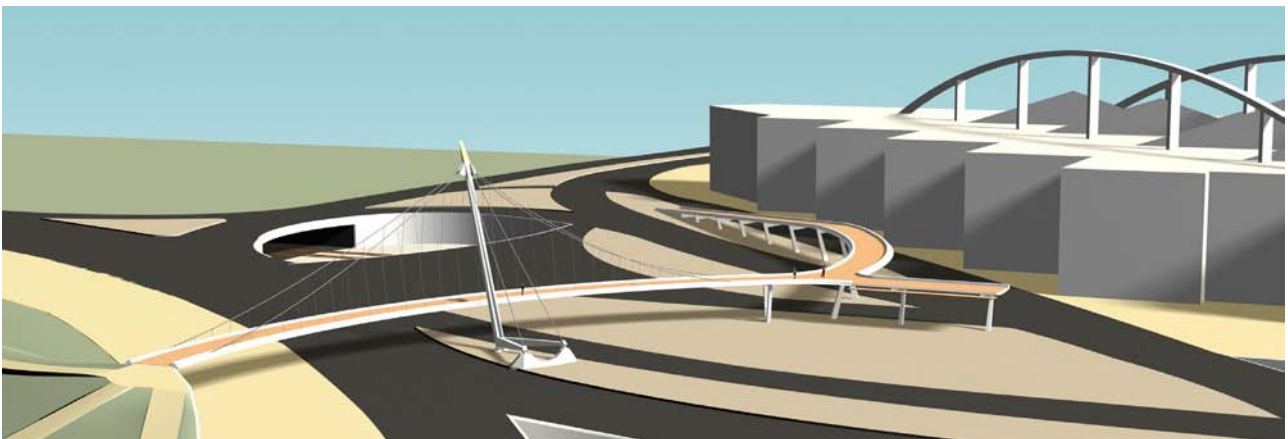


Fig. 9 Infografía de la configuración general de la pasarela con relación a la Estación de Delicias

En el extremo del lado Almozara se había previsto una colina artificial como en el caso de Logroño para soportar los accesos, que sin embargo se ha visto sustituida por un edificio provisional con escaleras y ascensores, por las razones que antes se exponían de provisionalidad de los elementos en este punto.

El diseño del vano principal se ve marcado por la configuración del mástil inclinado con sección en "A" y tirantes de contrarresto, y tablero mixto curvo suspendido por medio de péndolas de cuatro cables principales. El mástil limita su altura a 28 m para no superar la altura de los arcos de la estación y no competir visualmente con la arquitectura de este edificio de hormigón blanco.

El tablero sin contacto con el mástil, unido a la tipología colgante, busca la máxima transparencia y la sensación de que el tablero flote ingravido sobre la carretera en este punto.



Fig. 10 Infografía de proyecto del vano principal junto a una imagen de la estructura construida

2 Descripción de la estructura

El vano principal de 90 m de luz posee un tablero de 6.5 m de ancho con 5 m de ancho útil. Curvo en planta, se ve suspendido de los cuatro cables principales. El esquema estructural es el de un puente colgante autoanclado, con el tablero comprimido por la componente horizontal del tiro de los cables principales.

El sistema de cuelgue está formado por cuatro tirantes principales de cable cerrado de 95 mm de diámetro, describiendo una curva en el espacio ya que recogen los tiros de las péndolas partiendo del tablero curvo. Un total de 48 péndolas de cable helicoidal de 31 mm suspenden el tablero, a través de los cables principales a los que se anclan con mordazas atornilladas diseñadas y fabricadas para el proyecto.

El tablero se encuentra comprimido y retenido en horizontal por dos tirantes horizontales de chapa desde el mástil, de forma que la luz para su flexión horizontal se reduce a 45 m. Como avanzábamos la planta curva del tablero hace que los cables adopten curvas espaciales no contenidas en planos obligando a un trabajo iterativo de "form finding" de cara a considerar el equilibrio horizontal de fuerzas con las péndolas inclinadas, y el análisis en segundo orden de los cables teniendo en cuenta su rigidez bajo tensión.

La sección mixta de tablero está formada por dos nervios de borde metálicos de 90 cm. de canto y forma trapezoidal, y un cajón metálico central de 35 cm. de canto con una losa de hormigón de 15 cm. Coincidentes con los cuelgues de péndola dispuestos cada 3 m se disponen diafragmas rígidos internos que se prolongan hacia el exterior hasta los anclajes de péndolas a 3.6 m del eje curvo. Un tubo imposta exento une los anclajes de péndolas a modo de imposta de tablero.

El vano principal se suspende de un mástil exento inclinado abierto en A para aportar estabilidad transversal al esquema simétrico de cuelgue. El mástil cierra una célula triangular con los tirantes de retenida que contrarrestan la inclinación del mástil y unos puntales horizontales que recogen las componentes horizontales de las fuerzas de forma que se transmitan solo cargas verticales a la cimentación. En el anclaje trasero se dispone un contrapeso enterrado que iguala el tiro vertical de la retenida.



Fig. 11 Vista del vano principal colgante de 90 m al final de la construcción

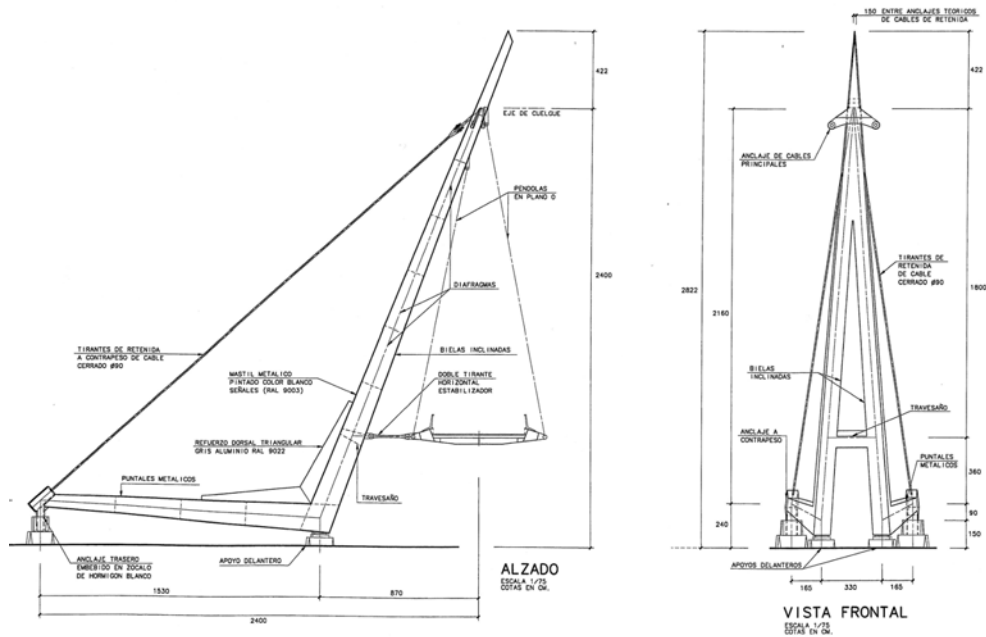


Fig. 12 Plano de definición general de la estructura metálica del mástil inclinado

La configuración espacial del mástil duplica sus elementos comprimidos de bielas y puntales horizontales, así como los tirantes de retenida para colaborar así a la estabilidad transversal del conjunto. El resultado es la configuración en "A" que va disminuyendo su ancho en altura hasta terminar en un remate apuntado en que el mástil literalmente desaparece. Dos refuerzos dorsales de sección triangular se adosan en la zona del nudo para hacer frente a los momentos, a la vez que enriquecen el diseño del mástil con diferente tonalidad en la pintura, tal y como se repite en los soportes de la rampa.

La rampa de acceso posee un tablero mixto de canto 50 cm y apoyos cada 7.8 m. La losa de hormigón se reduce al mínimo con una losa nervada de 6 cm de espesor medio, para limitar el peso sobre la plataforma de la estación en la que se apoya. Los apoyos tienen una configuración asimétrica con fuste inclinado metálico que es una evolución del diseño aplicado en la pasarela de La Cava en Logroño. El carácter asimétrico anticipa la curvatura y se "aleja" de la estructura de la estación estableciendo así un diálogo con ésta. La luz crece en la parte curva hasta salvar con un vano de 25 m uno de los viales del nudo, para lo cual la sección trapezoidal aumenta el canto hasta 1 m evolucionando a una sección triangular.

El estribo hueco de hormigón blanco da apoyo inicial a la rampa materializando un empotramiento rígido a torsión mediante un anclaje con barra pretensada inoxidable para evitar el despegue del tablero. Los zócalos de hormigón bajo pilas quedan ocultos en la acera reforzando la losa de la estación frente a las cargas puntuales de las pilas. El doble cuerpo del fuste de las pilas continúa con el juego bicolor de los refuerzos del mástil, subrayando su esbeltez.



Fig. 13 Imágenes de la estructura de rampa de acceso mixta y los pilares metálicos inclinados

3 Procedimiento de construcción

La construcción fue llevada a cabo por la UTE FERROVIAL-Ocinsa. Tras la ejecución de las cimentaciones consistentes en pilotes de diámetro 65 cm. y 100 cm. junto con los encepados y contrapeso del mástil, el primer elemento construido es el mástil inclinado metálico. El mástil llega a obra en tres porciones, cada uno de los puntales horizontales, que se colocan en su posición utilizando bancadas provisionales, y el conjunto de bielas inclinadas en A, que se iza con grúa en una pieza y se coloca en su posición ayudándose de un apeo provisional, necesario hasta completar la unión mediante soldadura con el resto de elementos del mástil y la instalación y tesado inicial de los cables cerrados de retenida, que limitan la flexión de este elemento debida a su inclinación.

Una vez instalado el mástil comienza el montaje de los tramos de estructura metálica del tablero mixto curvo de la pasarela, sobre torres de apeo provisionales. El montaje y fabricación de la estructura metálica corre a cargo del taller metálico Horta-Coslada.



Fig. 14 Imágenes del izado del mástil metálico, y de la instalación y tesado inicial de los cables de retenida

Los sucesivos tramos de tablero se montan sobre los apeos provisionales espaciados 18 m, en dos porciones longitudinales, ya que no es posible transportar el tablero a todo el ancho. Una vez soldados los tramos entre si y completada la estructura metálica de tablero se procede al armado y hormigonado de la losa de tablero, con la sección aún apoyada en los apeos provisionales previstos a este efecto. Sobre la estructura terminada del tablero se extienden los cables principales para su instalación. Los anclajes de péndolas se sitúan a partir de las marcas teóricas realizadas en su fabricación durante el preestirado, de acuerdo a los ángulos teóricos obtenidos en el cálculo.



Fig. 15 Imágenes del izado de los tramos de tablero metálico, e instalación de anclajes de péndolas a cables principales

Una vez instaladas las péndolas con su longitud teórica el **tesado** tiene lugar mediante la aplicación de las cargas con cuatro gatos actuando en los cables principales. Actuando siempre de forma simétrica con respecto al mástil, al tesar los cables principales las péndolas entran en carga de forma progresiva. Se realiza un control sobre el procedimiento de tesado mediante medidas topográficas e **instrumentación** de tensiones en cables y estructura metálica. La instrumentación se realiza por medio de galgas extensométricas aplicadas en secciones del mástil, cables principales, tirantes horizontales y tablero. La instrumentación permite detectar pequeñas desviaciones o asimetrías que producen flexiones parásitas en el mástil, de cara a su corrección. Se realizan dos pesajes de péndolas hacia la mitad y el final del tesado para verificar las cargas obtenidas y corregir en caso necesario. Los cables de retenida también se retesan en fases intermedias para controlar la flexión del mástil. Al final del tesado el tablero se despega de los apeos provisionales alcanzando una contraflecha de unos 35 mm de cara a hacer frente a las cargas permanentes, y permitiendo la retirada de los apeos.

Se realizan **pruebas de carga estática y dinámica** para verificar el buen comportamiento estructural de la pasarela. La prueba de carga estática se lleva a cabo con semitraviesas prefabricadas dispuestas en distintas configuraciones de carga hasta una carga total de unas 70 toneladas. Los resultados de deformaciones son satisfactorios, alcanzando valores del orden del 84% de los teóricos calculados.

La prueba de carga dinámica se lleva a cabo poniendo en vibración la pasarela con el paso de una maquina cargadora de unas 3 toneladas de peso sobre un escalón de 6 cm de altura, de cara a medir las frecuencias de los modos principales de vibración. Por medio de dos acelerómetros se miden las aceleraciones máximas en multiples situaciones de paso con 15 usuarios, andando, en carrera o con salto repetido en los puntos más sensibles de la pasarela, obteniéndose siempre aceleraciones menores de 0.9 m/s². Resultando que la situación de confort es apta de acuerdo a la bibliografía básica, con un alto grado de confort en situaciones normales de servicio con aceleraciones menores de 0.5 m/s². El comportamiento frente al viento se considera bueno tras las comprobaciones realizadas, sin que se considere necesaria la instalación de amortiguadores para mejorar su comportamiento.

La construcción termina con los **acabados** de la pasarela entre los que se incluyen las barandillas, el pavimento de madera de elondo, y la iluminación, que se incluye en los nervios de borde del vano principal, y en la tarima de la rampa curva, disponiéndose luminarias en el mástil, péndolas, y cables principales como iluminación artística de la pasarela en tiempo nocturno.

El resultado construido alcanza las expectativas depositadas en el proyecto, resultando una pasarela transparente y ligera que se integra de forma adecuada con la Estación de Delicias, enriqueciendo el cruce y sirviendo al objetivo de comunicar dos barrios de la ciudad de Zaragoza hasta el día de hoy separados por una barrera infranqueable, con un perfil dinámico y elegante, centrado con relación al nudo carretero.



Fig. 16 Imagen del montaje del pavimento de madera de elondo, y vista nocturna interior de la pasarela acabada