

Pasarela sobre la M-508 en Pozuelo de Alarcón (Madrid).

Footbridge over M-508 in Pozuelo de Alarcón (Madrid)

Ramón Alfonso Sánchez de León ^a, Francisco Sánchez de León. ^b

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. ESTUDIO AIA. Director de Obra Civil. rsanchezdeleon@estudioaia.com

^bArquitecto. ESTUDIO AIA. Director de Arquitectura. fsanchezdeleon@estudioaia.com

RESUMEN

La pasarela se ubica sobre la carretera M-508 en Pozuelo de Alarcón, dentro de un itinerario ciclopeatonal que conecta la trama urbana con el Parque Adolfo Suárez, anexo a la Casa de Campo de Madrid. La pasarela es una estructura bíggena de canto constante a la que se accede por rampas laterales en terraplén, sobre los que se apoyan los estribos durmientes. Se proyecta con una luz libre de 50,00 m biapoyada en vano único. Se ha realizado un estudio minucioso del pandeo lateral de ambas vigas al estar la cabeza de compresión exenta.

ABSTRACT

The footbridge is located over the M-508 road in Pozuelo de Alarcón, within a cycle-pedestrian route that connects the city with the Adolfo Suárez Park, annexed to the Casa de Campo in Madrid. The footbridge is a double plate girder structure with a constant depth that is accessed by lateral embankment ramps, on which the abutments rest. It is designed with a free span of 50,00 m in a single span. A detailed study of the lateral buckling of both beams has been carried out.

PALABRAS CLAVE: viga, acero, pandeo lateral, curvatura.

KEYWORDS: beam, steel, lateral buckling, curvature.

1. Actuación urbana.

El objeto de este proyecto es dar continuidad a la senda peatonal y ciclista que actualmente discurre por la carretera M-508 procedente de Humera con el núcleo urbano de Pozuelo de Alarcón en la vía de las Dos Castillas. Para ello es necesario la construcción de una pasarela sobre la M-508 y una senda peatonal y ciclista.

La pasarela sobre la M-508 cruza esta carretera a una distancia de unos 140 m antes de la actual glorieta elevada en el enlace entre la M-503 y M-508 como se ve en la figura 1.

Además de la pasarela sobre la M-508 es necesario una senda peatonal y un carril bici, que arranca en el desembarco de la pasarela sobre la M-503 y discurriría en una longitud de 300 m. hasta entroncar con la actual senda paralela a la

M-508 de reciente construcción y que viene desde Humera.

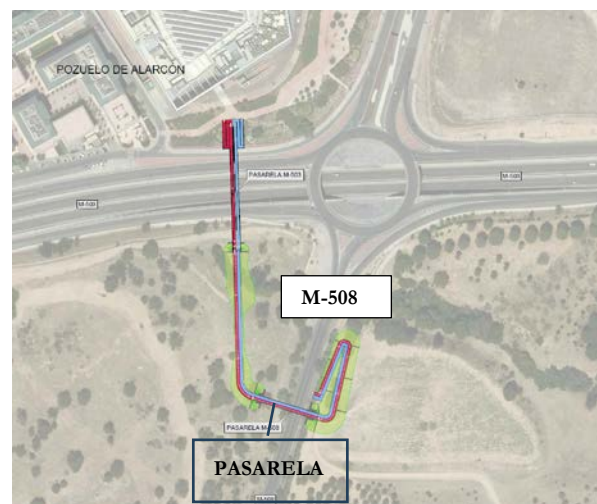


Figura 1 Planta del entorno de la pasarela. Enlace a diferente nivel entre la M-508 y M-503.

Hasta la ejecución de este proyecto no existía ningún cruce peatonal, ya que el enlace entre la M-503 y la M-508 está resuelto con una glorieta elevada que carece de aceras y pasos de cebra peatonales, por lo que la actual senda peatonal y ciclista se interrumpe cuando ésta llega a la glorieta, sin posibilidad de cruce al núcleo urbano de Pozuelo de Alarcón.

La intensidad de tráfico que soporta la vía es bastante elevada y por tanto su cruce tanto para peatones como para los ciclistas es altamente peligroso.

Según las prescripciones del Excmo. Ayuntamiento la pasarela deber tener un ancho de 4.00 metros para albergar tanto a peatones como ciclistas. Fuera de la pasarela, la senda peatonal y ciclista tendrá una anchura de 2,00 m para los peatones y un carril bici de doble sentido de 2.50 m de anchura, para ser coherente con lo proyectado a lo largo de la M-508 en dirección sur.

2. Condicionantes del proyecto.

Existen varios condicionantes a considerar dentro del proyecto de la pasarela que vamos a enumerar a continuación y que definen las líneas maestras para la elección de la tipología.



Figura 2 Esquema de planta de pasarela sobre carretera M-508

En primer lugar, la pasarela debe proyectarse para salvar no sólo la carretera actual M-508 que tiene una calzada única de 9.75 m sino para un futuro desdoblamiento de esta vía, convirtiéndola en doble calzada y además con una zona de reserva para servicios en la margen oeste (franja rosa de la figura 2), lo que supone una anchura libre de 33,50 m. Además, en la margen este (esto es, en el parque forestal de Somosaguas o de Adolfo Suarez) se ha construido adosado a la M-508 la senda peatonal y ciclista con una anchura de 4.50 m. por lo que la luz estricta entre muros de estribos sería de 38 m. Si a esto unimos que se elige una tipología de estribos durmientes en la pasarela, con la finalidad de integrarla más en el entorno y reducir los costes de cimentación, se obtiene una luz de la estructura de 50.00 m por los derrames de las tierras.

El gálibo vertical de la pasarela sobre la M-508 debe ser al menos de 5.50 metros libres sobre la cota superior de la calzada, por exigencias de la Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid. Este gálibo condiciona las rampas de acceso a la estructura, que se desarrollan tanto en el parque forestal Adolfo Suarez como en la zona verde en la margen oeste de la M-508 o zona forestal Valladares.



Figura 3 Alzado de la pasarela.

La pendiente de estas rampas está limitada al 6% por accesibilidad. Por todo ello, se deber diseñar una estructura con poco canto para minimizar la cota de estas rampas.

Es necesario considerar el tráfico que existe en la M-508 a la hora de pensar en el procedimiento constructivo de la pasarela, ya que es una vía con una alta IMD y cualquier afección al tráfico rodado en la construcción puede ocasionar grandes trastornos.

El planteamiento pasa por una estructura que pueda construirse en la explanada del parque Adolfo Suarez y montarse durante una noche con el oportuno corte de carretera, en una sola actuación.

Respecto a los servicios afectados, se han detectado varios que discurren paralelos a la margen oeste de la M-508 pero que están dentro de la franja de servicios comentada anteriormente. Excepto una línea de teléfonos área que se ve afectada en una longitud aproximada de 40 m.

En lo referente al terreno de cimentación, y según el estudio geológico y geotécnico del proyecto de soterramiento de la M-503, el material existente se corresponde con la típica arena de miga de las facies de Madrid, de buenas características para una cimentación directa.

Se ha tenido muy en cuenta en el diseño de la pasarela, la componente estética de la misma atendiendo a las pretensiones de la Propiedad, buscando un compromiso entre la funcionalidad, estética y coste de la pasarela.

3. Solución estructural.

La pasarela se resuelve mediante una estructura bijnágena de canto constante sobre la M-508 a la que se accede por rampas laterales en terraplén, tanto en el estribo este como en el oeste. Se proyecta con una luz libre de 50.00 m biapoyada en vano único.

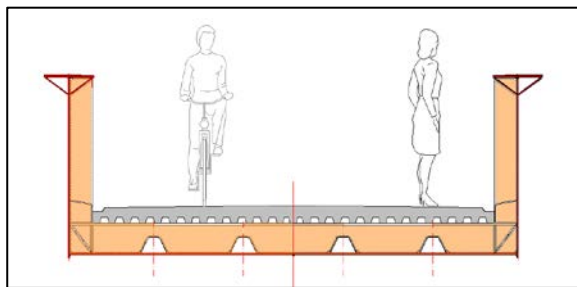


Figura 4. Sección transversal de la pasarela.

El diseño de la estructura se realiza en acero de resistencia mejorada a la corrosión S355J2W (acero autopatinable), que se integra perfectamente en las zonas verdes y naturales que la rodean.

El tablero tiene un canto constante de 1,80 m y una geometría curva en alzado (radio de 350 m) para darle mayor expresividad, sin superar en ningún momento la pendiente límite por accesibilidad del 6%.

La pasarela es esbelta con una relación canto/luz de 1/28. La anchura útil es de 4.00 m, que se divide en 2.00 m para ciclistas y 2.00 m para peatones.

El gálibo mínimo de la pasarela sobre la M-508 es de 5.72 m. Estando en el punto de menor gálibo la carretera a la cota 653.62 y la cara inferior del tablero a la cota 659.34.

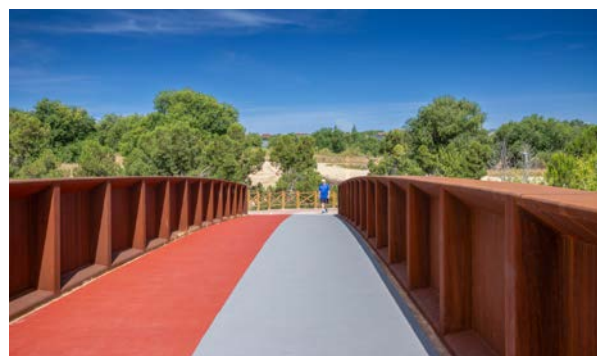


Figura 5. Vista interior de la pasarela terminada.

Veamos a continuación cada uno de los elementos que constituyen la pasarela, para su mejor comprensión:

3.1 Tablero.

El tablero está formado por dos vigas metálicas en T unidas en su parte inferior mediante un ala común, conformando una artesa abierta en su parte superior, sobre la que se apoya un forjado mixto de chapa grecada y losa de hormigón que constituye la plataforma pisable de la pasarela.

Las almas de las vigas están separadas 4.50 m. Las alas superiores son chapas de 500 mm de anchura con espesores variables entre 15 y 35 mm. Las alas están rigidizadas con unas chapas a 45° que unen las alas con las almas en una zona fuertemente comprimida. Las almas tienen un canto de 1800 mm y un espesor de 10 mm que se mantiene constante en toda la longitud de la pasarela.

El ala inferior tiene una anchura de 4500 mm y mantiene su espesor constante de 10 mm en toda la estructura. El ala inferior está rigidizada longitudinalmente mediante 4 rigidizadores en bulbo.



Figura 6 Alma de una de las vigas vista desde el interior de la pasarela.

Cada 2.00 m se disponen unos marcos transversales en U, que impiden el pandeo lateral de las vigas y rigidizan el alma de estas frente a cortante, a la vez que crean una modulación interior dentro de la estructura.

Sobre los travesaños horizontales de los marcos se apoya un forjado colaborante de chapa grecada AR 59/150 de 1 mm de espesor, sobre la que se vierte una losa de compresión de hormigón armado de 10 cm sobre la greca. Los travesaños se conectan al forjado de hormigón mediante pernos conectadores de 16 mm.

A la altura del forjado en los laterales se dispone de una chapa curvada en forma de Z que remata el borde del forjado, sirviendo de encofrado lateral a la losa de hormigón.

El forjado tiene una pendiente transversal del 1% hacia los bordes, para facilitar el drenaje del tablero, por ello en el borde del forjado se dispone una canaleta, ejecutada con una chapa curvada de acero corten en forma de U que recoge el agua de escorrentía llevándola hasta los estribos.

En los extremos del puente se dispone unos marcos de apoyo sobre los neoprenos y una chapa final de cierre de la estructura.

El puente se diseña con acero de resistencia mejorada a la corrosión S355J2W (acero corten). Previo a la colocación en obra se

realizó un chorreado para que la oxidación de la estructura fuese uniforme. En las zonas no accesibles de la estructura, esto es, bajo el forjado colaborante, el acero se protege con 2 capas de imprimación de brea-epoxi de 150 micras cada una.

3.2 Estribos.

Los estribos se resuelven mediante una viga durmiente de hormigón armado apoyada sobre el terraplén de acceso, transmitiendo la pasarela una carga máxima de 0.1 Mpa al terraplén. Esta viga durmiente trabaja como una viga sobre fundación elástica, repartiendo la carga en el terraplén de acceso.



Figura 7 Estribo izquierdo sobre muros de gaviones.

El cargadero de apoyo tiene una anchura longitudinal de 2.00 m y un canto de 1.50 m, biselado en su parte frontal. Se disponen unas pequeñas aletas en vuelta para la contención del derrame lateral de las tierras. Se proyecta en hormigón blanco encofrado con tabla machihembrada de primera puesta.

Para contener el derrame de tierras, se pone al pie del terraplén en ambos estribos unos muros de gaviones que delimitan perfectamente el terraplén en todo el pie del vertido y una sucesión de gaviones en el terraplén bajo la sombra en planta de la pasarela, hasta la base inferior del cargadero.



Figura 8 Estribo derecho sobre gaviones.

Los gaviones se realizan “in situ” con piedra caliza muy integrada con el color del acero oxidado como se ve en las figuras 7 y 8.

3.3 Rampas de acceso.

Las rampas de acceso no se resuelven con estructura sino con terraplenes que se integran perfectamente en las zonas verdes que acotan la pasarela en ambos extremos.

En el estribo oeste la rampa es una prolongación de la senda que viene desde la pasarela de la M-503. La pendiente de entrada es del 6%, coincidiendo con la pendiente máxima de la pasarela. La rampa este arranca en la actual senda paralela a la M-508 y va subiendo cota hasta alcanzar la entrada de la pasarela al 6% en forma de lazo.

3.4 Apoyos y juntas.

En los extremos de la pasarela se disponen unas junta de dilatación de elastómero armado con placas estriadas de acero, con movimientos estructurales máximos de 80 mm (± 40 mm), formada por material elastomérico y chapas de acero. Los apoyos son rectangulares de neopreno zunchado de 200x250 mm de dimensiones en planta.

3.5 Pavimento.

En la pasarela y tras la impermeabilización del tablero se dispone sobre el hormigón un pavimento antideslizante realizado mediante una aplicación de una imprimación de dispersión

acuosa de resinas acrílicas y recubrimiento con mortero sintético, en color rojo para la zona ciclista y blanco para la zona peatonal, formado por una mezcla con consistencia de lechada compuesta por áridos de granulometría controlada y resina sintéticas de alta resistencia al deslizamiento y gran resistencia al desgaste.

Se realizó una capa de acabado con pintura acrílica, en dispersión acuosa formulada con resinas acrílico-estirenadas y cargas minerales seleccionadas en color rojo/gris, resistente a las radiaciones solares y cambios meteorológicos en intemperie.

3.6 Barandilla integrada.

Las propias vigas funcionan como barandillas laterales. Además, se dispone en el lateral de la franja peatonal de la pasarela un pasamanos de acero inoxidable de 50 mm de acero A-316 pulido y brillante.

3.7 Drenaje de pasarela.

Se ha puesto especial interés en el correcto drenaje de la pasarela, ya que al ser ésta de acero corten es previsible que durante algún tiempo se produzca escorrentía con manchas de óxido. Para ello se dispone una canaleta corrida en ambos extremos del tablero, realizada con una chapa también de acero corten y limitada lateralmente mediante una chapa de borde. Esta canaleta llega a la chapa extrema de cierre y se le da continuidad hasta las bajantes prefabricadas de hormigón situadas en los terraplenes de las rampas.

Para facilitar el drenaje por posibles filtraciones de la losa de hormigón al fondo de la artesa, además de pintarse interiormente se han dispuesto unos orificios en los extremos para facilitar el drenaje interior de la artesa.

4. Particularidades del cálculo.

La mayor complicación en el cálculo de la estructura viene condicionada por el pandeo del

cordón superior comprimido de las vigas en su plano, esto es, por el pandeo lateral de las mismas, al no existir arriostramiento superior de las cabezas de las vigas.

El pandeo del ala superior queda coaccionado por los marcos transversales formados por los rigidizadores de ambas almas y del ala inferior de la pasarela. Se realizó un

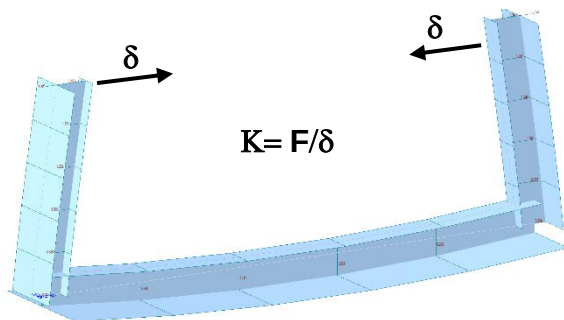


Figura 9 Estudio de rigidez del marco.

estudio de la deformación transversal en cabeza que tenía el marco frente a una carga unitaria. Así cada marco genera un apoyo lateral cuya rigidez viene dada por la deformación frente a una carga unitaria, que coarta la inestabilidad del cordón comprimido reduciendo la longitud de pandeo de las alas en su plano. Se obtuvo que la longitud de pandeo era de 5.56 m, mayor que la separación entre marcos.

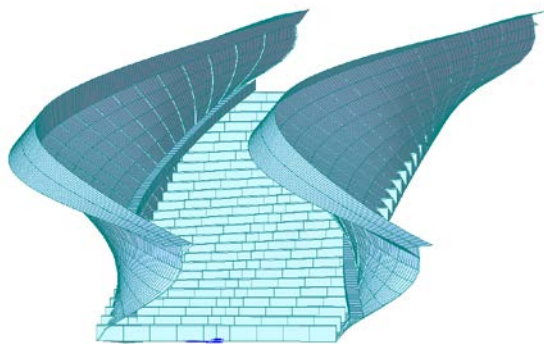


Figura 10 Modo de pandeo lateral de la pasarela.

Debido a la importancia de este aspecto en el diseño de la estructura, se realizó un modelo de elementos finitos tipo *plate* para las vigas y tipo *beam* para los rigidizadores. Se estudiaron los valores de pandeo que se obtenían según se iba incrementando las dimensiones de los rigidizadores. Se deduce de este estudio, que al menos para este caso concreto, el estudio del

pandeo lateral mediante el método de la rigidez de los marcos transversales nos deja del lado de la seguridad, frente a modelos de elementos finitos.

5. Proceso constructivo.

El procedimiento constructivo se ha pensado para afectar mínimamente al tráfico rodado de la M-508. Se aprovecha como plataforma de trabajo el parque de Adolfo Suarez, donde hay suficiente amplitud para cualquier maniobra, además en una zona despejada de árboles. Las fases de construcción pueden estructurarse de la siguiente manera:

FASE 0:

Reposición del servicio de telefonía afectado en el estribo oeste. Retirada del vallado existente en los bordes de la carretera. Colocación de los tubos de drenaje. Terraplenado de las rampas a ambos lados de la pasarela.

FASE 1:

Ejecución de los estribos este y oeste, apoyados sobre el terraplén. Construcción en taller de la estructura metálica en paralelo a las fases anteriores. Antes de llevarse a la obra toda la estructura fue chorreada con el fin de dar una textura uniforme a la oxidación y evitar así la oxidación diferencial de los diferentes tramos y de las propias soldaduras de taller.

En la obra no se realizó ninguna soldadura, sino que la viga salió completamente terminada del taller metálico. El Transporte a obra de la viga artesana se realizó en un único vano sobre camión dolly.

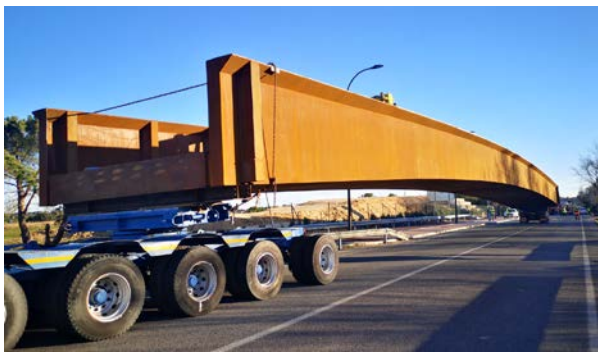


Figura 11 Transporte a obra de la viga en único tramo de 50,00 m.

FASE 2:

Colocación de la viga en posición sobre la M-508 con grúa automotriz, con corte nocturno de tráfico, con señalización previa de los cortes y desvíos. Para el montaje se utilizaron dos grúas autopulsadas de 300 y 400 toneladas.



Figura 12 Montaje de la viga en posición.

FASE 3:

Colocación de chapa colaborante y hormigonado del forjado. Impermeabilización de losa y colocación de pavimento antideslizante

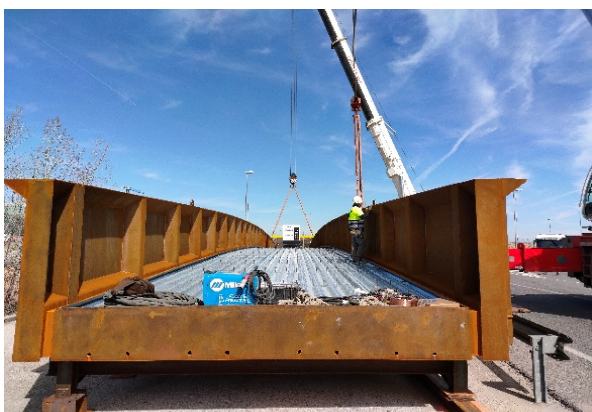


Figura 13 sección de artesa previo al hormigonado de la chapa de fondo.

FASE 4:

Pruebas de carga estática realizada con sacas de arena. Se realizaron tres fases durante la prueba, una primera cargando toda la pasarela, una segunda cargando únicamente hasta la mitad y finalmente cargado solo media sección para comprobar el comportamiento a torsión.

Los resultados obtenidos se ajustaron perfectamente a los previstos en el modelo de cálculo con errores inferiores al 5%.



Figura 14 Prueba de carga de estructura.

Agradecimientos

Agradecer a todos los participantes que han hecho posible la construcción de la obra. Al Ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón (Madrid) como promotor de la obra. A DIEZ Y COMPAÑÍA SA como empresa constructora. Al taller metálico INBERSA y finalmente a todos nuestros compañeros de ESTUDIO AIA que han participado en la redacción del Proyecto y la posterior Dirección de la Obra con tanto entusiasmo.