

Pasarela atirantada de las Dos Castillas en Pozuelo de Alarcón (Madrid).

Two Castilles cablestayed pedestrian bridge 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

En este artículo se hace una exposición de la nueva pasarela en Pozuelo de Alarcón sobre la autovía M-503. Se proyecta una solución atirantada singular combinado un pilono inclinado con una disposición de atirantamiento en arpa, que dota a la estructura de una perfecta armonía. La pasarela, además de resolver un problema funcional para dar continuidad a una senda peatonal y ciclista, pretende ser un hito urbano de referencia dentro de la ciudad.

ABSTRACT

This article presents a description of the new footbridge in Pozuelo de Alarcón over the M-503 highway. A unique cable-stayed solution is designed, combining an inclined pylon with a harp-shaped cable-staying arrangement, which gives the structure perfect harmony. The footbridge, in addition to solving a functional problem to provide continuity to a pedestrian and cycling way, aims to be a reference urban landmark into the city.

PALABRAS CLAVE: cable, pilono inclinado, acero, hito urbano.

KEYWORDS: cable, inclined pylon, steel, urban landmark.

1. Actuación urbana.

La actuación urbana consiste en dar continuidad a la senda ciclopeatonal que actualmente discurre por la carretera M-508 con el núcleo urbano de Pozuelo de Alarcón, a la altura del centro comercial Zielo. Para ello, es necesario la construcción de un nuevo tramo de senda ciclopeatonal de 375 m de longitud que incluye la construcción de dos pasarelas, una sobre la M-503 y otra pasarela sobre la M-508, que le confieren singularidad y personalidad a la obra.

No existe actualmente 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 autovía M-503 genera una brecha insalvable en este punto para ciclistas y peatones. La intensidad de tráfico que soporta la vía es

bastante elevada y por tanto su cruce es de evidente peligrosidad.

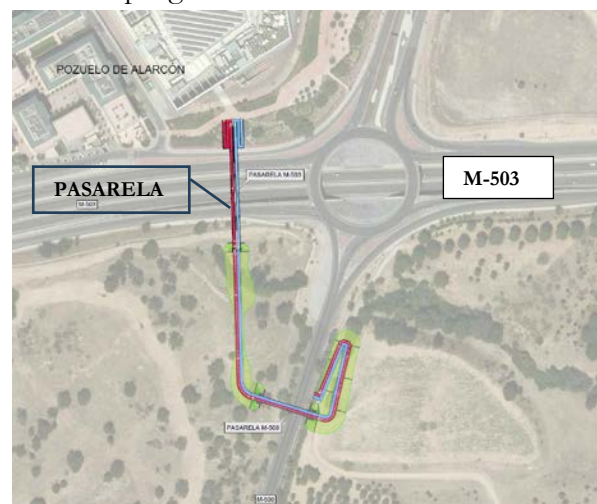


Figura 1. Cruce de la pasarela sobre la autovía M-503 en Pozuelo de Alarcón.

La senda arrancarí a al norte, en la zona ajardinada frente al C.C. Zielo y cruzaría con una

pasarela atirantada sobre la M-503 y la Vía de las Dos Castillas, prosigue por una zona verde intermedia para cruzar posteriormente sobre la M-508 con una pasarela de tipología bijácena de acero corten, objeto de otra ponencia.

Se ha buscado que el diseño de las pasarelas esté integrado con el entorno en el que se ubican, hábitats, que estando tan cerca, son muy diferentes. Así, la pasarela sobre la M-503 está en un espacio netamente urbano sobre una autovía de gran capacidad mientras que la pasarela sobre la M-508 está en un entorno más rústico junto al parque forestal Adolfo Suárez que comunica con la Casa de Campo de Madrid.



Figura 2. Alzado general de la pasarela.

En el estribo sur y paralelo a la M-503 se encuentran enterrados una gran cantidad de servicios (gas, abastecimiento, telefonía) que fueron reubicados en esta franja paralela a la M-503 cuando se realizaron las obras del actual enlace. Se decide saltar esta franja de servicios para no afectarlos, lo que incrementa la luz necesaria hasta los 80.00 m.

El gálibo vertical de la pasarela sobre los ramales del enlace de la M-503 debe ser de 5.50 metros libres, por exigencias de la Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid. Este gálibo condiciona fuertemente el

2. Condicionantes del diseño.

Existen varios condicionantes a considerar dentro del proyecto que definen las líneas maestras para la elección de la tipología.

En primer lugar, está la luz mínima que se sitúa en el entorno de los 65.00 m por la imposibilidad de disponer pilas intermedias al no existir espacio físico entre los carriles de la M-503 y los de los enlaces, ya que la M-503 está enterrada a su paso por debajo de la glorieta elevada y los carriles de acceso al enlace están adosados a la pantalla del soterramiento. Además, debe cruzar la Vía de las Dos Castillas y la acera y el carril bici adosados al norte de esta vía.

diseño de la pasarela, ya que realmente hay muy poco espacio para la ubicación de las rampas al tener éstas una pendiente máxima del 6% por condicionantes de accesibilidad.

El desembarco de la pasarela en la parte norte y sur son muy diferentes, ya que la zona norte está urbanísticamente muy consolidada, mientras que la zona sur es un entorno más natural con amplias zonas de desarrollo verde.

Es necesario considerar el tráfico que existe en la M-503 a la hora de pensar en el procedimiento constructivo de la pasarela, ya que es una vía con una altísima IMD y cualquier

afección al tráfico rodado en la construcción puede ocasionar grandes trastornos.

En lo referente al terreno de cimentación, y según el estudio geológico y geotécnico, el material existente se corresponde con la típica arena de miga de las facies de Madrid, con existencia de rellenos en el estribo sur.

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

3. Descripción de la pasarela.

La pasarela se resuelve mediante una estructura atirantada de canto constante sobre la M-503 a la que se accede por unas rampas laterales en el estribo norte y se da continuidad en el estribo sur hasta la pasarela sobre la M-508, se proyecta con una longitud de 80.00 m de luz en vano único.

La pasarela es muy esbelta con una relación canto/luz de 1/67. La anchura útil es de 4.50 m, que se divide en 2.25 m para ciclistas y 2.25 m para peatones, plataformas separadas físicamente por la viga central, lo que impide la interferencia de tráficos al cruzar la pasarela.



Figura 3. Vista global de la estructura.

El tablero está sustentado por un pilono de acero inclinado sobre la horizontal con una altura superior a los 28.00 m desde la cota del tablero. Del pilono parten 13 parejas de tirantes para sostener el tablero cada 4.75 m. La parte trasera el pilono está retenido mediante una única pareja de tirantes anclada a la cimentación.

Para garantizar la estabilidad del tablero y el anclaje del tirante de retenida, el tablero se prolonga en la parte trasera del pilono en lo que denominaremos la cola de la pasarela y que está semiculta en los muros de las rampas de acceso.

El gálibo de la pasarela viene condicionado por el carril de salida de la glorieta desde la M-503 y la Avenida de las dos Castillas.

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

3.1 Tablero.

El tablero es una sección cajón central en forma de artesa trapezoidal metálica de canto constante de 1.20 m. La artesa tiene una anchura superior de 1.00 m y en su parte inferior de 1.40 m. Su trazado longitudinal es curvo con pendientes máximas inferiores al 6%. Cada 2.50 m se disponen unas costillas transversales a ambos lados de la artesa.

Apoyado sobre las costillas se dispone una chapa perfilada colaborante AR 59/150 en acero galvanizado prelacada en color blanco de 1.00 mm de espesor con una altura de greca de 59 mm para la construcción del forjado mixto de la pasarela. Sobre esta chapa se hormigona la losa del forjado con una altura de 8 cms sobre la cara superior de la chapa perfilada.

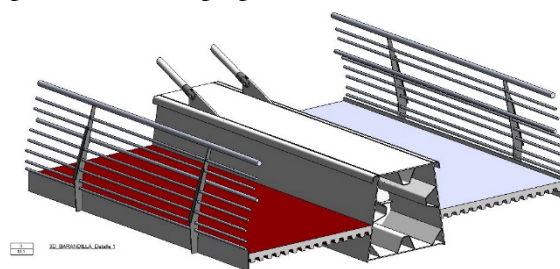


Figura 4. Tramo de tablero.

En el estribo norte el tablero se empotra en el pilono, mientras que en el estribo sur el tablero se apoya sobre unos neoprenos en una viga durmiente pilotada. Dado que la reacción en este estribo sur es muy pequeña al estar el tablero suspendido de los tirantes, se hace necesario incrementar la reacción en el apoyo mediante el diseño de una riostra que además de permitir la

separación transversal de los apoyos a una distancia de 5.10 m, se hormigona interiormente originando un lastrado del puente.



Figura 5 .- Vista frontal del pilono.

3.2 Atirantamiento.

El tablero está sustentado mediante 13 parejas de tirantes, con disposición en arpa con una inclinación de 25° respecto de la horizontal.

Cada tirante está compuesto por una barra roscada galvanizada de acero de grano fino de 520 N/mm² de límite elástico y 660 N/mm² de resistencia última. Las barras varían su diámetro en función de su posición en el tablero, oscilando entre 36 y 42 mm. La conexión con el pilono y el tablero se realiza mediante terminales de horquilla en acero de fundición y un bulón de acero alta resistencia.

Las barras están protegidas mediante vainas de tubo de polietileno de alta densidad compuesta por dos capas de polietileno coextrusionadas: capa interior negra y exterior de color blanco (Ral 9003), con diámetro exterior de vaina de 90 mm y espesor mínimo de 6 mm, fileteado helicoidal y separadores de barra-vaina

cada metro, para evitar el efecto poligonal de la vaina.

La retenida se realiza mediante una pareja de tirantes formado por un haz de 31 cordones monoprotegidos de 7 alambres galvanizado en caliente y con envoltorio de polietileno de alta densidad individual para cada cordón con doble protección con cera.

En la salida del tirante se dispone de un tubo antivandálico en chapa galvanizada con alturas para proyección vertical de 2.50 m con un anillo centrador de neopreno en su interior y amortiguadores externos. En los tirantes de retenida, se han dispuesto amortiguadores para evitar vibraciones inducidas al ser dos tirantes paralelos y muy juntos.

3.3 Pilon.

El pilono es un elemento metálico inclinado 58.66° respecto de la horizontal con una longitud de 31.00 m, de forma rectangular de ancho constante de 1.00 m y canto variable desde 2.25 m en el arranque del tablero hasta 1.25 m de canto en la parte superior.



Figura 6. Vista lateral del pilono.

Los tirantes se anclan mediante horquillas soldadas a las almas del pilono cada 2.00 m, de tal manera que introducen la tracción del tiro del tirante, directamente sobre el alma.

Las chapas del pilono son bastante potentes variando su espesor de 30 mm hasta 70 mm en las zonas más solicitadas. Al no disponer nada más que de una pareja de tirantes de retenida en el extremo superior, la flexión en el pilono obliga a secciones muy potentes si se

quiere mantener el pilono en unas dimensiones estrictas. En la cabeza superior del pilono se encuentra el anclaje de los tirantes de retenida. El acero utilizado en las chapas es S355J2.

3.4 Cola.

La cola es la prolongación de la viga cajón del tablero por detrás del pilono, convirtiéndose en un vano secundario estructural oculto que estabiliza la estructura. Es una viga trapezoidal metálica con la anchura del ala superior de 1.00 m y con la misma inclinación de las almas que el tablero.

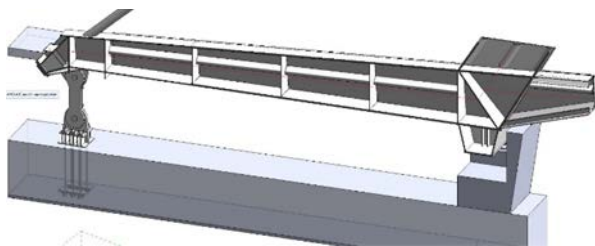


Figura 7. Esquema de cola de la pasarela.

El canto es variable desde 1.00 m en la zona de anclaje a la cimentación hasta 2.00 m en el nudo tablero-pilono-cola.



En el extremo de la cola está el anclaje activo de la pareja de tirantes de retenida y a su

Figura 8. Anclaje de cola a cimentación.

vez la cola se ancla verticalmente por medio de una doble rótula hasta la cimentación. La doble rótula se materializa con bulones de 180 mm de diámetro de alta resistencia de acero especial (30NiCrMo 16-6), de 1050 Mpa de resistencia a tracción mínima y 880 Mpa de límite elástico

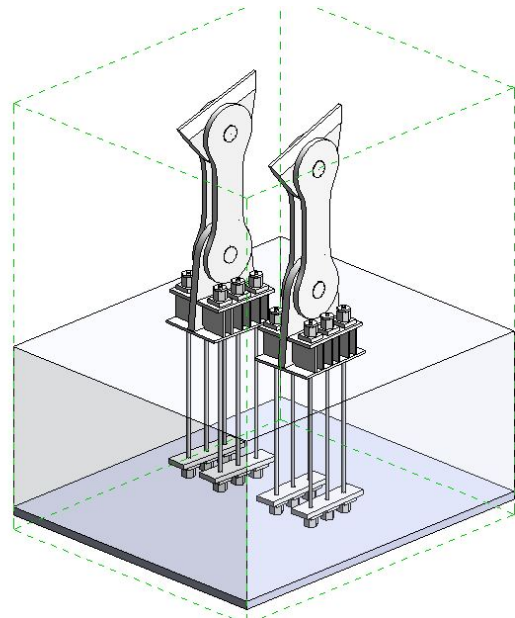


Figura 9. Esquema de doble rótula anclada.

El anclaje al encepado se realiza con 12 barras roscadas de 40 mm de acero galvanizado laminadas en caliente de 1050 N/mm² de tensión de rotura y 950 N/mm² de límite elástico, tesadas a 860 kN cada una de ellas. En el fondo de la cimentación estas barras quedan ancladas a una chapa que transmite la carga al hormigón del encepado.

3.5 Nudo tablero-pilono-cola.

En este nudo se funden el tablero, el pilono y la cola; por ello se requieren unos diafragmas interiores potentes que equilibran estos tres elementos estructurales.

Además, para coger las flexiones transversales del pilono generadas por el viento transversal, las imperfecciones geométricas equivalentes y efectos de no linealidad del pilono, es necesario diseñar una riostra transversal, separando los apoyos 3.70 m transversalmente. Este es uno de los elementos más complejos en el diseño de la pasarela.

3.6 Rampas de acceso norte.

Para coger la cota del tablero es necesario unas rampas de acceso con una pendiente del 6% y una anchura de 2.25 m. Se proyectan rampas simétricas respecto del eje del tablero: por el lado este de la pasarela para el tránsito peatonal y por el lado oeste para el tránsito ciclista, de manera que ambos tráficos suben separados para no incomodarse entre ellos.



Figura 10. Rampas de acceso.

A cada lado se proyectan tres tramos de rampas con descansillos en los extremos. Las rampas se materializan mediante forjados de losa maciza de 30 cm de canto que se apoyan sobre muros de hormigón armado blanco. Estos muros se ejecutan con encofrado en tabla machihembrada de primera puesta en algunos tramos y con encofrado fenólicos lisos en otro, según planos de proyecto.

El entramado de rampas de acceso deja unos espacios interiores entre muros que son accesibles y visitables para inspección de muros, apoyos y anclaje de la cola, para lo que se materializa una puerta de acceso al recinto ejecutada en lamas metálicas.

3.7 Cimentaciones.

El estribo norte se cimienta sobre un encepado de hormigón armado HA-30 de 2.00 m de canto y unas dimensiones en planta de 15.72 m de ancho y 19.50 m de largo, que fue hormigonado ininterrumpidamente para evitar la formación de juntas frías. El encepado se apoya sobre 4 pilotes de 1400 mm de diámetro dispuestos en el plano delantero de apoyo del pilono y 2 pilotes de 1400 mm en la parte trasera coincidente con el plano de anclaje de la cola.

Los pilotes se realizaron con camisa de chapa recuperable y todos ellos fueron inspeccionados con ultrasonidos para detectar la presencia de patologías durante su ejecución.

El propio encepado, junto con el peso de los muros y forjado de las rampas, actúa como contrapeso para establecer el equilibrio de la estructura. Además, en estado límite último de equilibrio de la pasarela puede contarse con la resistencia a fuste negativa de los pilotes traseros con el tope marcado por la resistencia de la armadura de los pilotes que se ancla en la parte superior del encepado. Por esta razón, la armadura de los pilotes traseros se debe anclar en la cara superior del encepado.

El encepado funciona como una viga en sentido longitudinal entre los pilotes delanteros y traseros, trabajando a flexión positiva.

El estribo sur está compuesto por un dintel de hormigón armado HA-30 sobre el que descansa el tablero de la pasarela, este dintel se apoya sobre dos pilotes de 850 mm de diámetro, fuertemente armados para recoger las fuerzas horizontales de viento transmitidas por la pasarela. El estribo dispone de aletas laterales para el derrame de tierras. El hormigón del dintel y aletas vistas es blanco y se ejecutó con encofrado de tablas machihembradas de primera puesta.

Al pie del estribo sur se dispuso un muro de gaviones compuesto por caja de 2x1x1 m de malla de triple torsión, hexagonal, de 50x70 mm, de alambre de acero galvanizado de 2.00 mm de diámetro, rellena de piedra granítica de

granulometría comprendida entre 100 y 200 mm y que sirve de remate al vertido de tierras del terraplén del estribo.

3.8 Apoyos y Juntas.

Los apoyos dispuestos en la pasarela son los siguientes:

Los apoyos verticales en estribo norte del nudo pilono-tablero-cola se resuelven con dos pastillas de neopreno zunchado de 800 mm de diámetro y 173 mm de espesor, como se alcanzan en servicio presiones inferiores a 5 Mpa se anclan tanto al tablero metálico como al nudo de la pila mediante 6 pernos de anclaje de 40 mm y 200 mm de longitud.

Los apoyos horizontales de cola recogen las reacciones horizontales de viento que se generan en el anclaje de la cola mediante dos neoprenos zunchados, anclados y deslizantes con lámina de teflón, de dimensiones 150x200x56 mm. En el muro del estribo es necesario disponer una placa de acero inoxidable para permitir el deslizamiento del apoyo.

En el estribo sur se disponen dos apoyos de neopreno zunchado superbasculante anclado en la cara inferior y deslizante en la cara superior, rectangular de dimensiones 200x250x71 mm.

Para coger las reacciones horizontales de viento que se generan en el estribo sur y dado que los apoyos verticales son deslizantes, se disponen dos neoprenos zunchados, anclados y deslizantes con lámina de teflón, de dimensiones 100x150x56 mm. En la aleta del estribo es necesario disponer una placa de acero inoxidable para permitir el deslizamiento del apoyo.

Todos los apoyos podrán sustituirse durante la vida de la estructura. Especial importancia tiene este aspecto para los apoyos principales bajo el pilono, donde se ha dejado previsto poder meter unos gatos e izar la pasarela en caso de que fuera necesario en un futuro por degradación de los neoprenos.

La junta de dilatación en la pasarela en el estribo sur se resuelve con una junta de elastómero armado con placas estriadas de

acero, con movimientos estructurales máximos de ± 40 mm.

4. Procedimiento constructivo.

El procedimiento constructivo se ha pensado para afectar mínimamente al tráfico rodado de la M-503. Las fases de construcción se estructuran de la siguiente manera:

FASE 0

- Reposición de todos los servicios afectados en el estribo norte.
- Terraplén en el estribo sur.

FASE 1

- Ejecución de pilotes del estribo norte y sur.
- Ejecución del encepado norte hormigonado en continuo, sin juntas frías.
- Pretensado de barras de anclaje de la cola.
- Construcción en taller de la estructura metálica.

FASE 2

- Colocación de cola y arranque de pilono.
- Colocación de resto de pilono.

FASE 3

- Colocación de apoyos provisionales en arcones de carriles de acceso a glorieta.
- Colocación de los cables de retenida y primer tesado.
- Colocación de tramos extremos de artesa y costillas laterales de tablero con grúa.

FASE 4

- Colocación del tramo central de la artesa y costillas laterales del tablero.

FASE 5

- Colocación de tirantes, dándoles un tesado del 10% de la carga final.
- Colocación de la chapa gresada sobre costillas.
- Hormigonado del tablero.

FASE 6

- Tesado de los tirantes al 90% de la carga definitiva según protocolo de tesado establecido.
- Tesado del tirante de retenida según protocolo de tesado.
- Desapeo de los apoyos provisionales.



Figura 11. Vista de la pasarela finalizada

FASE 7

- Tesado final de los tirantes y ajustes de la retenida, según protocolo de tesado.

FASE 8

- Colocación de la carga muerta y barandillas.

FASE 9

- Pruebas de carga estática y dinámica.

Previo al montaje de la estructura se realizó un protocolo de tesado de la pasarela, con definición de los procesos de montaje de los tirantes, fases de tesados de los mismos y seguimiento y control de este.

5. Instrumentación.

Para la ejecución del tesado de la pasarela se dispuso de una instrumentación para el control y ayuda durante los procedimientos de tesado y que sirvió para la toma de decisiones según avanza el proceso constructivo, verificando la bondad del protocolo adoptado. En esta instrumentación se dispuso de bandas extensométricas, sondas de temperatura, acelerómetros en los tirantes y clinómetros en la cabeza del pilono.

Agradecimientos

Agradecer a la empresa SERANCO SAU por la calidad en la ejecución de la obra y su siempre buena disposición a solventar los problemas inherentes a la construcción, especialmente al jefe de obra D. Javier Fuentes.