ACTUACIONES DE ADECUACIÓN SOBRE LAS PASARELAS ARCO DE LA M-30.

José Antonio TORROJA CAVANILLAS
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Torroja Ingeniería S.L.
Presidente
jatorroja@torroja.es

José Andrés DEL VALLE PÉREZ
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Torroja Ingeniería S.L.
Jefe de Proyectos
javalle@torroja.es

Ramón María MERINO MARTÍNEZ
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Torroja Ingeniería S.L.
Especialista en Estructuras
rmerino@torroja.es

Javier GAMINO PALOMO
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Torroja Ingeniería S.L.
Especialista en Estructuras
jgamino@torroja.es

Enrique SÁNCHEZ RUIZ
Ingeniero de Montes
Ortiz Construcciones y Proyectos S.A.
Jefe de Obra
enrique.sanchez@grupoortiz.com

RESUMEN

En 1978 fueron proyectadas por José A. Torroja Oficina Técnica, S.A., y ejecutadas por la empresa Huarte, dos pasarelas arco sobre el corredor este de la autopista M-30. Se trataba de dos pasarelas gemelas formadas cada una por un arco biarticulado de hormigón armado que se completaba con sendas rampas de acceso laterales apoyadas en los riñones del arco. En 2008 surgen necesidades de actuación sobre estas pasarelas para adecuarlas tanto a las exigencias de accesibilidad actuales como a algunas modificaciones establecidas en las calzadas de la autopista urbana. Para una de estas pasarelas, la insuficiencia de gálibo necesario para la ampliación de un carril de la autovía, determinó su desmontaje y sustitución por una pasarela nueva. Para la otra, sin embargo, ha sido posible una solución de adecuación que ha consistido en la construcción de un nuevo tablero metálico adaptado a la nueva normativa, conservando el arco original como elemento estructural de sustentación de dicho tablero sobre la M-30.

PALABRAS CLAVE: Rehabilitación, adecuación, desmontaje, refuerzo, arco, anclajes al terreno, postesado, estructura mixta, madera, pasarela.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

En la década de 1970 se proyectaron y se construyeron varias pasarelas peatonales sobre el arco este de la M-30 (actual Avenida de La Paz) para mejorar la permeabilidad transversal al tráfico peatonal. Entre estas obras se encontraban las dos pasarelas arco proyectadas por José A. Torroja Oficina Técnica, S.A. Se trataba de dos estructuras casi idénticas para dar paso a la calle de Ángel Gordillo (pasarela norte) y para dar acceso al polideportivo San Juan Bautista (pasarela sur) sobre las cuatro calzadas con que contaba la autovía en ese tramo. Ambas pasarelas fueron finalizadas en el año 1978.

Con el paso de los años desde su puesta en servicio, las dos pasarelas se han convertido en elementos característicos del paisaje urbano de la zona, estando perfectamente integradas en él. Sus majestuosos arcos, que con una luz de 103 m entre arranques cubren las cuatro calzadas de la autovía, han adquirido cierto carácter emblemático dada la audacia, simplicidad, y elegancia de la solución estructural.

1.2. Pasarelas originales de 1978

1.2.1. Descripción

Las dos estructuras de 1978 eran muy semejantes. Cada una constaba de un arco biarticulado de hormigón armado de 103,0 m de luz y 10,0 m de flecha (con un rebajamiento, por tanto, de 1:10), apoyado en las márgenes de la M-30, completado por sendas rampas de acceso, también de hormigón armado, en ambas márgenes (figura 1).

En el arco se distinguían tres tramos. El central era un cajón unicelular de canto variable, mínimo en la clave, y de anchura constante, que constituía en sí mismo el tablero de la pasarela. La anchura del forjado superior era de 3,0 m, y su cara superior era la superficie transitable del tablero.



Figura 1. Vista general de la pasarela de San Juan Bautista, con el estribo móvil en primer plano.

Este tramo central se completaba en ambos extremos por sendas parejas de puntales que lo sustentaban, de sección rectangular maciza y canto variable decreciente hacia los arranques, donde se encontraban las articulaciones. El intradós de los puntales mantenía la continuidad del intradós del tramo central, completando así el arco y dotando de continuidad visual al conjunto. Los puntales, empotrados al tramo central en lo que constituían los riñones del arco (de canto máximo), se apoyaban por su extremo inferior en los macizos de cimentación a través de rótulas plásticas. Sus ejes en planta eran oblicuos al eje del arco, abriéndose simétricamente hacia la zona de arranques, donde se encontraban arriostrados entre sí por un tirante de hormigón pretensado. Entre cada pareja de puntales y su tirante se formaba una célula triangular que confería a la estructura del arco estabilidad transversal.

La cimentación en ambas márgenes era profunda. El arco se prolongaba mediante sendas parejas de tornapuntas hasta un macizo de cimentación dispuesto en el sustrato competente, a una profundidad de 9,0 m en el lado oeste y de 13,0 m en el lado este.

La estructura se completaba con las rampas laterales de acceso al tramo central del arco. Eran dos tableros de hormigón armado, con sección en “π”, tal que el trasdós de su forjado era tangente al trasdós del forjado superior del arco, dando así continuidad al tablero. En ambas pasarelas, la

rampa de acceso del lado oeste, interior a la almendra de la M-30, era de un único vano, que arrancaba en el estribo (estribo 1) y terminaba apoyada sobre el riñón del arco, punto de conexión entre el cajón y los puntales extremos. La rampa este era similar, pero al ser más larga contaba con una pequeña pila pantalla intermedia, ortogonal a la directriz de la propia rampa, resultando de dos vanos. Por tanto, la rasante en alzado constaba de un acuerdo parabólico convexo, correspondiente al tramo del arco, y dos tramos rectos tangentes a dicho acuerdo, correspondientes a las rampas de acceso.

1.2.2. Estribo móvil del arco

Los arcos de ambas pasarelas contaban con un ingenioso sistema de estribo móvil. En ambas estructuras, el estribo oeste del arco era una losa deslizante apoyada inferiormente sobre una losa de cimentación, y frontalmente sobre un tope vertical conectado a la citada losa, cuya coronación constituía a su vez el estribo del desembarco (figura 1). Este conjunto losa-tope se continuaba mediante la estructura de cimentación antes citada. Este sistema permitía disponer una pareja de gatos de empuje horizontal entre la losa móvil (en unos huecos habilitados a tal efecto) y el tope trasero de reacción. Fue ideado en su momento con el propósito de permitir la puesta en carga del arco mediante su cierre elástico tras la conexión de las piezas prefabricadas que lo integraban. También se concibió para posibilitar un nuevo cierre elástico del arco tras un cierto periodo de servicio de la estructura, con el objeto de paliar los efectos geométricos de pérdida de flecha producidos por la fluencia desarrollada por el hormigón durante ese tiempo. Con un empuje horizontal controlado del estribo móvil hacia el estribo fijo, se conseguiría alzar el arco con la contraflecha deseada, de modo que se recuperaría la flecha perdida con la fluencia y se eliminarían las flexiones de segundo orden producidas por este fenómeno reológico.

1.2.3. Estribo fijo del arco

En ambas pasarelas, el diseño del estribo fijo (este) vino condicionado por la presencia de un colector que pasaba por sus inmediaciones. La presencia de este colector obligó a realizar un quiebro en los tornapuntas de cimentación, desviándolos de la trayectoria de la directriz del arco, de modo que se les dio una inclinación mayor para evitar su interferencia con el colector. Esto obligó a reforzar este estribo con una serie de anclajes al terreno que, junto al propio peso del macizo de transferencia, compensasen las fuerzas de desvío originadas en dicho quiebro.

1.2.4. Proceso constructivo

Las dos pasarelas eran prácticamente iguales, si bien existían pequeñas diferencias en las directrices de sus arcos. Ambos arcos se construyeron prefabricándolos en seis tramos que posteriormente se montaron en obra. El cajón constaba de cuatro tramos de similar longitud, transportados a obra y montados con grúa sobre apeos provisionales situados en las medianas y los bordes de la autovía. Una vez colocados, estos tramos se conectaron entre sí mediante dovelas hormigonadas “in situ” sobre los apeos provisionales. Del mismo modo se ejecutaba el riñón de conexión entre el cajón y los puntales de apoyo. Era en esas dovelas ejecutadas “in situ” donde difería la geometría de los arcos, ya que los quiebros que formaban unas piezas del arco con sus piezas contiguas eran ligeramente distintos en las dos estructuras, debido a las distintas necesidades de adaptación de gálibos de cada pasarela.

Una vez completado el arco se procedía a su cierre elástico y consecuente desapeo tras lo cual se bloqueaba el estribo móvil y se colocaban las rampas de acceso finalizando la estructura.

1.3. Nuevas necesidades de adaptación y accesibilidad

Dentro del amplio abanico de actuaciones llevadas a cabo durante la década de 2000 en la M-30 y su entorno, se realizaron varios proyectos de pasarelas peatonales nuevas. Pero esto también puso de manifiesto la necesidad de adecuar las ya existentes a los nuevos requerimientos de accesibilidad exigidos en las normativas vigentes. Esta necesidad afectaba directamente a las pasarelas arco, pues sus rampas de acceso tenían unas pendientes en torno al 18%, muy superiores al 8% máximo admisible que recoge la normativa del Ayuntamiento de Madrid. Se hizo por tanto necesario llevar a cabo actuaciones de adecuación sobre estas pasarelas a criterios de diseño actual de rampas peatonales.

La pasarela de San Juan Bautista se enfrentaba además a la necesidad de ampliación de un carril en una de las calzadas exteriores de las cuatro que discurren bajo su arco. Se observó que el gálibo del nuevo carril se veía invadido por la estructura. Estos dos problemas derivaron en la decisión de eliminar dicha pasarela y construir una nueva que respetase tanto el gálibo de la autopista como las características de accesibilidad exigidas. El Ayuntamiento de Madrid pidió la colaboración de Torroja Ingeniería S.L. en la operación de desmontaje de la pasarela, efectuada en el año 2008, una vez finalizada la nueva pasarela junto a la misma.

La pasarela de la calle Ángel Gordillo, solo se vio afectada por las necesidades de adaptación de accesibilidad peatonal. Para preservarla, el Ayuntamiento determinó la realización de un proyecto de adecuación que contemplase la construcción de un nuevo tablero de mayor anchura que mantuviese la estructura existente, pero diseñado en consonancia con los criterios de la normativa vigente. Dicho tablero se serviría del arco de la pasarela original como elemento de sustentación, conservándose así dicho elemento estructural.

En un principio se barajó la solución de construir un tablero de hormigón armado que en parte estaría apoyado en pilastras sobre el arco, y en parte en un recrecido del propio arco, pero se desechó esta solución por el inconveniente de su peso propio, incompatible con la capacidad portante de los cimientos de la estructura actual. Torroja Ingeniería propuso resolver la estructura mediante un tablero metálico, mucho más ligero y rápido de montar. Se aprobó la solución planteada y se encargó a Torroja Ingeniería S.L. la redacción del proyecto de construcción de la nueva pasarela. Dicho proyecto contemplaba no solo el diseño del tablero peatonal y sus nuevos tramos de acceso, sino también las actuaciones de refuerzo a llevar a cabo en la estructura existente y en sus cimentaciones, así como el desmontaje de las rampas de acceso originales. La redacción del proyecto comenzó en el año 2008 y las obras finalizaron a mediados de 2009.

2. Desmontaje de la pasarela de acceso al polideportivo San Juan Bautista

2.1. Proyecto de desmontaje

Una vez tomada la decisión de desmontar la pasarela de San Juan Bautista, la empresa contratista redactó el correspondiente proyecto en el que se planteaba como acometer dicha demolición. Torroja Ingeniería prestó su colaboración, a petición del Ayuntamiento de Madrid, a dicha actuación de demolición, supervisando el proyecto preliminar, inspirando el método a seguir, y llevando a cabo su supervisión.

El principal condicionante del proyecto era el tratar de afectar lo menos posible al denso tráfico de la M-30, por lo que el desmontaje del tramo central del arco era evidentemente la fase más com-

plicada de la operación, mientras que la demolición de los elementos exteriores a las calzadas no presentaba problema alguno.

Para desmontar la estructura por tramos era necesario proceder a su apeo en torres de apoyo provisionales situadas en las medianas de la autopista y en sus márgenes. De esta forma se podría cortar el tramo central en cuatro piezas que se retirarían con grúa. Estas piezas coincidirían aproximadamente con las mismas piezas prefabricadas que se montaron en el momento de la construcción, con lo cual el desmontaje sería un proceso inverso a aquel.

Para asegurar un reparto controlado del peso del arco sobre estos apoyos provisionales, se decidió aprovechar el estribo móvil operando en sentido contrario al de su puesta en carga original. Con una apertura controlada del arco deslizando el estribo hacia atrás, éste descendería hasta apoyarse en las torres de apeo provisional, para posteriormente, ya sin esfuerzo axil, ser cortado en piezas que se retirarían con ayuda de una pareja de grúas.

2.2. Obra de desmontaje

Los trabajos de eliminación de la pasarela se acometieron según las propuestas de Torroja Ingeniería en julio del año 2008, una vez se finalizaron las obras de la pasarela nueva situada a escasos metros de la pasarela a desmontar, con el fin de no afectar a la continuidad del tráfico peatonal de la zona.



Figura 2. Apeos provisionales para apoyo del arco. Detrás, la nueva pasarela.

Se comenzó con el montaje de las torres metálicas de apeo provisional en las márgenes de la autopista y en las tercianas entre calzadas (figura 2). Los puntales laterales del arco, ya fuera de la autopista, se cimbraron con cimbra cuajada ortogonalmente a su directriz. También se accedió al interior del cajón para llevar a cabo labores de refuerzo de las dos piezas centrales del cajón que en su montaje original requerían pretensado provisional. Aprovechando las vainas existentes en el forjado inferior, se introdujeron de nuevo unos cordones de acero y se tesaron con el fin de permitir sustentación biapoyada a estas piezas para evitar su rotura durante su retirada y traslado una vez cortadas.

Con la estructura aún completa, se habilitaron los huecos para ubicar los gatos de empuje horizontal en la parte posterior de la losa móvil del estribo 1 (oeste). Una vez posicionados los gatos y puestos en carga recogiendo el empuje horizontal del arco, se demolió la parte posterior de la losa deslizante situada entre los gatos para permitir su deslizamiento hacia atrás. Hecho esto, se pro-



Figura 3. Retirada del primer tramo de arco con ayuda de dos grúas móviles ubicadas en la calzada cortada.

cedió a la apertura del arco hasta que quedó apoyado en los apeos provisionales con el reparto isostático de origen.

El siguiente paso fue el corte en piezas del tramo central del arco. Se mantuvieron las rampas laterales en su lugar para facilitar el acceso de la maquinaria y los equipos de corte al tramo central del arco. El corte se llevó a cabo utilizando hilo de diamante. Una vez cortado el arco en piezas, éstas se retiraron con ayuda de dos grúas móviles. Esta operación se realizó en cuatro noches consecutivas, retirando cada noche una de las cuatro piezas centrales (figura 3), con lo cual solo fue preciso realizar el corte de una única calzada cada noche, sobre la que se situaban las grúas.

El resto de elementos, las rampas de acceso y los puntales, se desmontaron posteriormente, cortándolos con hilo de diamante y retirándolos con grúas.

3. Remodelación de la pasarela de la calle Ángel Gordillo

3.1. Proyecto de remodelación

3.1.1. Planteamiento y condicionantes

El proyecto contempla por un lado el diseño del nuevo tablero y sus elementos de subestructura, que lo vinculan con el terreno y con el arco de hormigón armado de la pasarela original, y por otro lado las actuaciones a llevar a cabo en la estructura existente para adecuarla a su nuevo uso.

Fueron varios los condicionantes a los que se enfrentó el encaje del nuevo tablero. Debía seguir un trazado que se ciñese en su tramo central a la estructura original del arco, manteniendo el mismo eje en planta que éste para apoyarse sobre él. Este nuevo tablero tendría una anchura superior a la de la pasarela original (5,0 m en lugar 3,0 m) y una rasante cuyas pendientes no superarían el 8%. Por otro lado, el tablero debía ser lo suficientemente ligero para reducir al mínimo posible las cargas permanentes sobre el arco y así minimizar los trabajos de refuerzo necesarios a llevar a cabo sobre su estructura y sus cimentaciones

Además, este tablero debería poder construirse causando la menor incidencia posible sobre el tráfico de la autovía.

3.1.2. Concepción y descripción del nuevo tablero

Descartada la solución de tablero de hormigón, se planteó el diseño de un tablero metálico mucho más ligero, constituido por un emparrillado de vigas de acero, y rematado por un pavimento a base de madera, lo cual aligeraría aún más la estructura, que aún así debería resistir además la sobrecarga correspondiente a la nueva anchura de plataforma.

El trazado del tablero parte del eje en planta del arco, al cual debe ceñirse. El encaje en alzado parte de un acuerdo parabólico sobre el arco que hace que, visualmente, el arco y el nuevo ta-

blero sean tangentes entre sí en las inmediaciones de la clave. A partir de este acuerdo, se trazó hacia el estribo 2 (este) un tramo recto con una pendiente del 3,7%, desembarcando la pasarela junto a la calle Arturo Soria. El desembarco por calle Federico Salmón (lado este), era más complicado. La existencia de un parque, una calzada con tráfico rodado y un pequeño polideportivo desaconsejaban un desembarco con un tramo recto en prolongación del eje original que mantuviese una pendiente máxima del 8%. El problema se solucionó estableciendo un quiebro en el trazado en planta y un tramo recto de eje oblicuo al eje del arco, formando 117º con éste. Este tramo oblicuo respeta el gálibo de la calzada de la calle Federico Salmón, y se adentra en el parque contiguo hacia el estribo 1. Con una combinación de tres alineaciones rectas el estribo se integra adecuadamente dentro de un área con arbustos del parque, salvaguardando una hilera existente de árboles. En alzado, el tramo recto contiguo al acuerdo parabólico sobre el arco adopta una pendiente del 5,9%, continuando el trazado tras el quiebro con una pendiente del 7,74% hasta el inicio del estribo 1.

En resumen, el trazado en planta está formado por una alineación recta en dirección este-oeste, coincidente con el eje del arco, que en el lado oeste realiza un quiebro hacia el suroeste, formando un ángulo de 117º con la anterior alineación. Esta alineación se mantiene en el tablero hasta llegar al estribo, en el cual se realizan dos ligeros quiebros hacia la derecha para adaptar el desembarco en el parque respetando los árboles existentes. En alzado, recorriendo la pasarela desde el inicio del estribo 1, se sucede una rampa ascendente del 7,74%, que tras superar el quiebro (horizontal) se torna en un 5,9%, con la que se llega al acuerdo convexo en lo alto del arco, tras el cual se adopta una pendiente descendente del 3,7% hacia el final del estribo 2.

El tablero tiene 5,00 m de anchura en el tramo recto principal sobre el arco, y 4,00 m en el tramo oblicuo del lado oeste. Está formado en ambos casos por una batería de 5 vigas metálicas longitudinales alternadas con riostras transversales, idénticas en sección, que completan el emparrillado. En el tramo principal las vigas longitudinales equidistan 1,20 m entre sí, siendo esta equidistancia de 1,00 m en el tramo oblicuo. Las riostras transversales se sitúan aproximadamente cada 2,00 m a lo largo de todo el tablero (figura 5). El canto estructural del tablero es de 40 cm en los vanos de los tramos exteriores al arco, siendo todas las vigas y riostras de estos vanos perfiles IPE 400. En los vanos del tramo que discurre sobre el arco el canto es de 27 cm, siendo sus elementos perfiles IPE 270, pues las luces son menores y con ese canto se aligera más la estructura que el arco debe soportar. No obstante, el tablero queda rematado lateralmente en toda su longitud por sendas impostas metálicas de 65 cm de canto, que es el canto visible que mantiene su alzado en todo su desarrollo (figura 4).

Sobre el emparrillado metálico se tiende un emparrillado más tupido de rastreles de madera de pino, de 13 cm de canto. Éstos constituyen la estructura de reparto sobre la que se tiende el pavimento final, formado por láminas de madera de ipé de 2 cm de espesor (figura 5),

El tablero tiene un total de 20 vanos, incluyendo el vano en el que se efectúa el quiebro, entre las pilas P3 y P4. La distribución de luces medidas en metros sobre el eje del tablero desde el estribo oeste (estribo 1) es 7,83 + 2 x 11,75 + 9,24 + 15,57 + 10 x 7,86 (tramo sobre el arco) + 3 x 15,67 + 11,75 + 7,83, completando una longitud total de tablero de 201,30 metros sobre el eje (figura 4).

El tablero se sustenta mediante un total de 21 pilas, cada una formada por una pareja de fustes metálicos de sección tubular de 300 mm de diámetro y 10 mm de espesor. Las pilas inicial y final se encuentran adosadas a los muros frontales de los estribos. Hay un total de 11 pilastras, desde

la pila 5 hasta la 15, que apoyan sobre el arco de hormigón. Estas pilastras están empotradas por su base en el forjado superior del arco. Son las de menor altura, siendo la más pequeña la pilastra P11, cercana a la clave del arco, con tan solo 20 cm de longitud de fuste. El resto de pilas se empotran en unos pedestales de hormigón que se interponen entre los fustes metálicos y las zapatas de cimentación, a excepción de las pilas 4 y 16, las cuales se hallan empotradas sobre las cimentaciones superficiales del arco. Algunos de los pedestales de hormigón de las pilas tienen un diseño que incluye una jardinera ornamental integrada en la propia estructura. La función de estos pedestales es la de proteger a los fustes del impacto de vehículos.

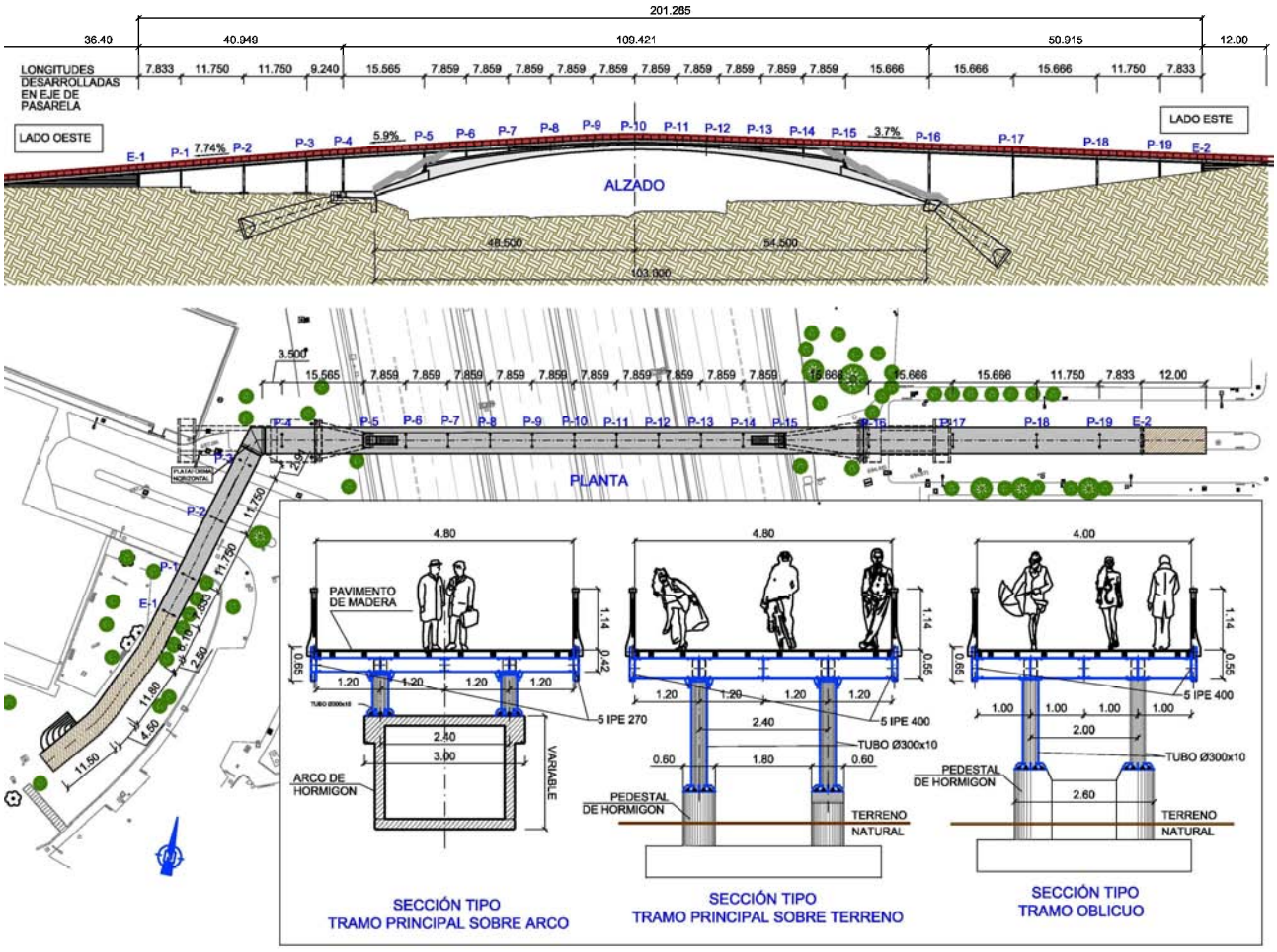


Figura 4. Alzado, planta y secciones transversales tipo de la pasarela.

Los fustes de las pilas distan entre sí 2,40 m en el tramo principal del tablero, y 2,00 m en el tramo oblicuo, coincidiendo sus cabezas con nudos del emparrillado metálico sobre las vigas longitudinales 2 y 4. En el caso de las pilastras P5 y P15, al apoyarse sobre la zona de riñones del arco, más estrecha que el forjado superior del cajón, la distancia entre sus fustes es de 2,10 m.

Las pilas E1, P1, P6 a P14, P18, P19 y E2 cuentan con apoyos de neopreno-teflón deslizantes circulares en la coronación de sus fustes. El resto de pilas, por su rigidez, permiten su empotramiento en el tablero.

Los estribos son cerrados de hormigón armado, y van acompañados de una pareja de fustes cilíndricos similares a los del resto de pilas, adosados a su muro de frente, que soportan los extremos del tablero.

La pasarela se complementa con dos desembarcos intermedios mediante escaleras que dan acceso directo al tramo principal de la pasarela sobre el arco desde las márgenes de la autovía, acomodadas sobre los puntales y los riñones del arco (figura 5). Se abren paso a través de sendos huecos practicados en el tablero en esas zonas, a base de eliminar un tramo de la viga longitudinal central y los tramos de riostras correspondientes entre las vigas 2 y 4. Cada una de estas escaleras está formada por dos tubos metálicos laterales que sostienen una sucesión de peldaños de madera de ipé que se apoyan por sus extremos en estos tubos. Las escaleras parten desde la cota a pie de calle y, apoyándose en tubos horizontales sujetos transversalmente a los puntales del arco, y en pequeños enanos sustentados en los riñones, finalizan empotrándose en el propio tablero en el hueco antes descrito.



Figura 5. Vista inferior del tablero y detalle de escalera de acceso.

La pasarela queda finalmente rematada con las barandillas laterales, formadas por una sucesión de montantes y dobles pletinas de acero, y rematadas por pasamanos de madera de ipé. Estas barandillas están soldadas inferiormente a los tubos metálicos que flanquean la superficie transitable del tablero, los cuales están integrados dentro de la imposta metálica que recorre todo el tablero por ambos laterales configurando su alzado.

3.1.3. Actuaciones de adecuación sobre la estructura original

El nuevo tablero supone un incremento de cargas y un cambio de uso en el arco, y se hace necesario llevar a cabo actuaciones de acondicionamiento sobre el mismo antes de construir el nuevo tablero sobre él.

Una de las principales actuaciones que precisa es el refuerzo de las cimentaciones del arco. Se trata de recrecer los macizos sobre los que apoyan los puntales del apoyo fijo del arco, que transfieren las cargas a los tornapuntas de la cimentación profunda. Con esta medida se incrementa el peso de estos macizos de modo que contrarrestan y equilibran el incremento de la fuerza de desvío generada en el obligado quiebro entre puntales y tornapuntas por el aumento del peso propio y de las sobrecargas de uso. El recrecido se complementa además con una serie de nuevos anclajes al terreno de dicho macizo de hormigón, para asegurar una mayor sujeción frente a las nuevas cargas. Estos anclajes se diseñaron para la envolvente pésima de hipótesis en relación con la eficacia de los anclajes originales, ejecutados 30 años antes. También se dispusieron anclajes al terreno en la base del estribo móvil por razones similares.

Otra importante medida es el refuerzo de los tirantes que arriostran los puntales del arco en arranques. Las nuevas cargas provocan una mayor tracción en dicho tirante que se debe contrarrestar con un refuerzo del mismo. Éste consiste en un recrecido de la sección del tirante que incluye su propio pretensado, el cual contrarresta el incremento de carga horizontal producido.

El cierre elástico del arco es otra de las actuaciones previas a realizar. El cierre se lleva a cabo empujando horizontalmente la losa móvil del estribo oeste del arco hacia el otro estribo. Con esta medida se consigue contrarrestar el efecto producido tras 30 años de desarrollo de fluencia en la estructura. Como resultado se recupera la flecha producida y se eliminan los momentos flectores residuales originados en el arco por dicha acción reológica.

Entre el resto de actuaciones, destaca la necesaria retirada de las rampas de acceso, y el acondicionamiento de la geometría de los riñones del arco, a base de demoliciones y recrecidos puntuales para adecuarlos a los requerimientos geométricos de la nueva estructura y dar cabida así a los nuevos elementos que deben servir a la sustentación de aquella.

3.2. Proceso constructivo

Con la pasarela aún en servicio, las obras comenzaron a principios del año 2009 con las tareas de acondicionamiento de la estructura original, previas a la construcción del nuevo tablero.

Inicialmente se descubrieron los macizos superficiales de cimentación del arco para reforzarlos. Se ejecutaron los recrecidos proyectados, así como los anclajes al terreno. Seguidamente se ejecutaron los refuerzos de los tirantes de arriostramiento de los puntales del arco, ejecutando el recrecido de cada tirante “in situ” y pretensándolo posteriormente.

A continuación se efectuó el cierre elástico del arco. Para ello, se descubrieron y habilitaron los huecos de los gatos en la parte posterior de la losa móvil. Una vez posicionados los gatos, se pusieron en carga y se comenzó a deslizar lentamente la losa móvil hacia el otro estribo. Una vez alcanzados los 4 cm de desplazamiento horizontal, se detuvo la operación y se procedió a hormigonar el hueco posterior resultante para bloquear de nuevo la losa. Con ese deslizamiento horizontal se consiguió alzar en 10 cm la flecha del arco en su clave, tal y como estaba previsto.



Figura 6. Retirada con grúa de un tramo previamente cortado de la rampa de acceso este.

Finalizados los trabajos previos sobre el arco, se procedió a la interrupción del paso peatonal sobre la estructura para comenzar la colocación de las pilastras del nuevo tablero y el desmontaje de las rampas de acceso, que fueron cortadas en piezas y retiradas con grúa (figura 6). Una vez exento el arco de sus accesos, se realizaron las correcciones necesarias sobre la geometría de los riñones.

Simultáneamente a la realización de estas actuaciones sobre la estructura antigua, se fueron ejecutando las cimentaciones y pedestales de las nuevas pilas externas al arco, así como

los nuevos estribos. Mientras, en el taller metálico se construía el nuevo tablero. Se construyó en tramos prácticamente completos, que incluían las barandillas y la mayor parte del pavimento final de madera, listos para ser trasladados a obra y ser montados allí con grúa (figura 7).

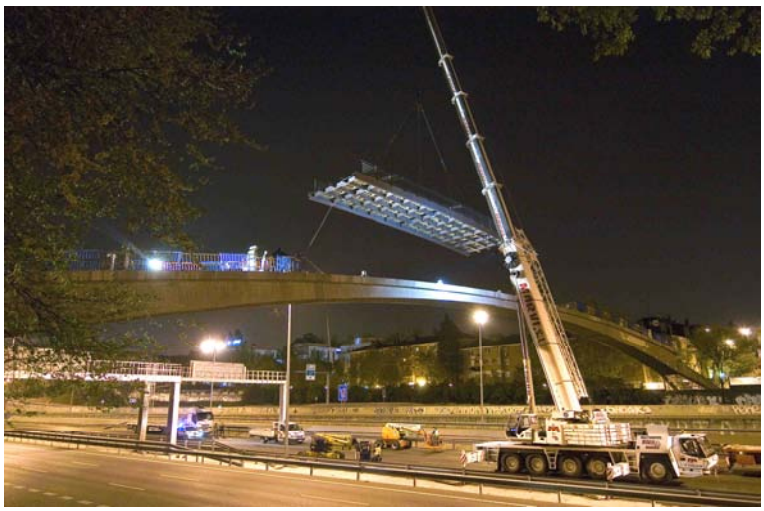


Figura 7. Montaje con grúa del primer tramo de tablero sobre el arco, la noche del 2 de abril de 2009.

Preparado el arco para recibir la nueva estructura, llegó el momento del montaje del tablero, comenzando con el tramo sobre el arco, que fue el primero en montarse con el objetivo de introducir sobre el arco la nueva carga de peso propio en el orden más favorable posible. Se dividió en cuatro tramos de longitudes similares que fueron colocados durante cuatro noches consecutivas a principios de abril de 2009. Se colocó un tramo cada noche (figura 7), con el fin de minimizar la afección al tráfico de la autovía, pues cada noche se cortó únicamente la calzada ubicada bajo el tramo a montar, en la que se situaban tanto el camión de transporte como la grúa de izado. Los tramos se soldaban entre sí durante las mismas noches de montaje, una vez posicionados en su lugar.

El resto de tramos del tablero se montaron posteriormente y sin necesidad de realizar cortes de tráfico en la autopista. La construcción finalizó a finales de julio de 2009 (figura 8), tras la realización de la correspondiente prueba de carga.



Figura 8. Pasarela finalizada y en servicio. Vista general desde tramo oblicuo. Detalle de escalera.

4. Participantes

- **NOMBRE DE LAS OBRAS:**
  - Pasarela de San Juan Bautista: Mejora de la Permeabilidad Transversal en el Arco Este de la M-30 en el PK 4+100 (acceso al polideportivo San Juan Bautista).
  - Pasarela de Ángel Gordillo: Proyecto Modificado Nº1 del Proyecto de Mejora de la Permeabilidad Transversal en el Arco Este de la M-30 entre el Nudo de La Paloma y el Enlace de Costa Rica. Pasarela en la Calle Ángel Gordillo.
- **PROPIEDAD:**
  - Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno de Obras y Espacios Públicos. Dirección General de Infraestructuras.

Participación general en ambas obras:

- **DIRECCIÓN DE OBRA:**
  - D. Juan de Las Heras Azcona (I.C.C.P. – Madrid, Ayuntamiento de Madrid)
  - D. Javier Nájera Juanes (I.C.C.P. – Madrid, Ayuntamiento de Madrid)
  - D. Antonio Martín García (I.T.O.P., Ayuntamiento de Madrid), *P. Ángel Gordillo*
  - D. Lorenzo Castro Álvarez (I.T.O.P., Ayuntamiento de Madrid), *P. S. Juan Bautista*
- **AUTORES DEL PROYECTO Y ASISTENCIA TÉCNICA A LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS:**
  - Torroja Ingeniería S.L.
    - D. José Antonio Torroja Cavanillas (Doctor I.C.C.P. – Madrid)
    - D. José Andrés del Valle Pérez (I.C.C.P. – Madrid)
    - D. Ramón María Merino Martínez (I.C.C.P. – Madrid)
    - D. Javier Gamino Palomo (I.C.C.P. – Madrid)
- **EMPRESA CONSTRUCTORA:** Ortiz Construcciones y Proyectos S.A.
- **JEFE DE OBRA:** D. Enrique Sánchez Ruiz (Ingeniero de Montes – Madrid)

Participación particular en la Pasarela de la Calle Ángel Gordillo:

- **ASISTENCIA TÉCNICA A LA DIRECCIÓN DE OBRA:** GIS – INES Ingenieros Consultores
  - D. Damián Javier Terrasa Díaz (I.C.C.P. – Madrid)
- **TALLER DE ESTRUCTURA METÁLICA:** Imasal S.A. (Industrias Metálicas Alamillos)
- **TALLER DE MADERA:** Exteriores Tropicales
- **ANCLAJES AL TERRENO:** Micros - Cimentaciones Especiales
- **REFUERZOS PRETENSADO TIRANTES:** BBR