III CONGRESO DE ACHE DE
PUENTES Y ESTRUCTURAS

LAS ESTRUCTURAS DEL SIGLO XXI
Sostenibilidad, innovación y retos del futuro

Rehabilitaciones



REHABILITACIÓN PUENTE DE SANTA TERESA

José Andrés **DEL VALLE PÉREZ**[1], Pedro Pablo **SÁNCHEZ MARTÍNEZ-FALERO** [2]

[1] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, TORROJA INGENIERÍA

[2] Ingeniero Técnico de Obras Públicas, TORROJA INGENIERÍA

RESUMEN

El puente de Santa Teresa es una estructura de fábrica de principios del siglo XVIII situada sobre el río Vinalopó en la ciudad de Elche. Con doble bóveda apuntada de 14,0 m de luz, pila central de 7,2 m de anchura con tajamares, todo ello de sillería incluso los tímpanos entre claves y con aletas de mampostería ordinaria, este puente es uno de los principales elementos del patrimonio histórico artístico de la ciudad de Elche. Durante los tres siglos casi exactos transcurridos desde su construcción se han producido diversos desórdenes que aconsejaban una rehabilitación integral.

El objeto de este documento es presentar las actuaciones principales llevadas a cabo durante la intervención.

PALABRAS CLAVE

Puente. Fábrica. Rehabilitación

1. EL PUENTE

1.1. Encuadre histórico

El día 2 de Mayo de 1705 el Duque de Arcos D. Joaquín Ponce de León colocó la primera piedra del hoy conocido como Puente de Santa Teresa, Puente de la Virgen o Puente Viejo. Originalmente tenía un solo vano, el de Levante, pero en 1751 una gran avenida sobrepasó la plataforma destrozando el estribo de Poniente. La reconstrucción se llevó a cabo pues con un nuevo arco en el lado de Poniente y ejecutando un tajamar en la pila que se coronó mediante sendas capillas así como construyendo cadenas en ambas bóvedas. Nuevas avenidas, como la ocurrida en 1820, dieron origen a reparaciones e intervenciones diversas la última de las cuales antes de la actual data de 1961.

1.2. Descripción

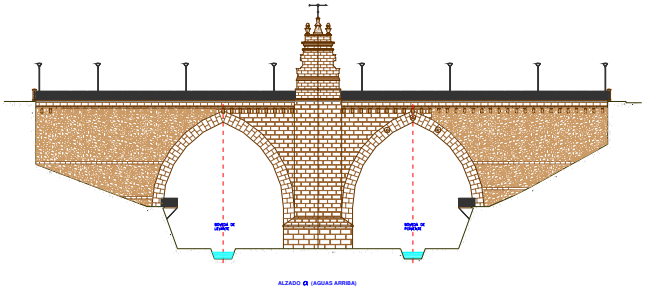


Fig. 1.- Alzado del puente

El puente de Santa Teresa es una estructura de fábrica de sillería de tipología arco con tímpano compuesto por dos vanos de 14 m de luz libre. Cada uno está conformado por un arco apuntado de unos 12,00 m de flecha. Las boquillas presentan dos o tres roscas en boquillas alternando aparejo a soga o a tizón, con espesor aparente de 1,30 m aproximadamente. Las bóvedas, de 9,80 m de anchura, son sin embargo de un espesor aproximadamente mitad del citado bien que trasdosadas por mantos de mampostería ordinaria y por cadenas de rigidización. La cadena es única en la bóveda más antigua, la de Levante y doble, con muros transversales formando cuarteles en la más reciente, de Poniente, y sobre la pila. La pila central, de 7,2 m de anchura está rematada lateralmente por sendos prismas triangulares rectos que inferiormente se abren formando tajamares rematados por sombreretes y superiormente se coronan por sendas hornacinas, capillas o casilicios dedicados a los patrones de la ciudad. Los tímpanos adyacentes a la pila son de fábrica de sillería mientras que los adosados a los estribos son de mampostería, prolongándose la fábrica de igual forma en las aletas de aquellos, aunque con una verdugada de sillería horizontal que nace a la altura de los riñones de las bóvedas.



Fig. 2.- Vista desde aguas abajo

En coronación de los tímpanos se disponen losas voladas de piedra que descansan sobre modillones, completándose así los 11,05 metros de anchura de la plataforma. En los bordes de estas losas se apoyan sendos pretiles de hormigón en masa aplacados con



Fig. 3.- Detalle de modillones

piedra y coronados mediante una pieza maciza tallada en la que se anclan los montantes de la barandilla.

1.3. Diagnóstico de la estructura

1.3.1.- Inventario de daños

El inventario de daños reflejado en la inspección inicial mostraba un deficiente estado de conservación. Podríamos destacar las siguientes alteraciones:

a) Disyunciones o agrietamientos de desarrollo longitudinal entre los tímpanos y las bóvedas en ambos vanos, posible consecuencia de destrabamientos originados por empujes del relleno sobre los tímpanos además de otras causas derivadas de la diferente rigidez de éstos y el resto de las bóvedas. En la bóveda de Levante aparecen también otras grietas longitudinales de entidad que parecen indicar giros laterales de los tímpanos.



Fig. 4.- Grieta longitudinal. Bóveda de Levante

b) La ineficacia de los elementos de drenaje y la inexistencia de una adecuada impermeabilización de la plataforma ha favorecido la entrada de agua de percolación, que, junto con la humedad capilar debida a la elevada porosidad de la roca matriz, catalogada como una biocalcarenita de grano fino, ha mantenido la fábrica con humedad elevada y ha facilitado los depósitos de sales que han ido produciendo sucesivos desprendimientos por exfoliación de la misma.

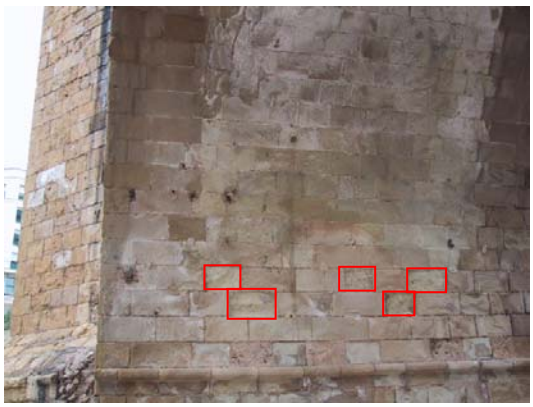


Fig. 5.- Arenización y exfoliación de los sillares

c) La mezcla de fábricas de calidad variable, la errónea disposición a contralecho de algunas piezas unido ello a los fenómenos de erosión atmosférica, erosión fluvial durante las avenidas y los fenómenos químicos derivados de la contaminación, han favorecido la proliferación de otras alteraciones nocivas para la piedra con alveolizaciones, arenización por pérdida de la cohesión intergranular, etc.



Fig. 6.- Alveolización y estrías vermiculares

d) La plataforma y los elementos de contención presentaban también mal estado de conservación y deterioros llamativos. Fatiga y agrietamiento del aglomerado, pretiles fracturados, anclajes de barandilla con corrosión.



Fig. 7.- Detalle de anclaje de barandilla

1.3.2.- Evaluación de la capacidad portante

Pese a las incertidumbres tanto geométricas como mecánicas de los materiales, se llevaron a cabo algunos análisis previos de capacidad portante para averiguar con que magnitud de sobrecarga serían de temer problemas de agotamiento de la estructura en base a la caracterización disponible de morteros de rejuntado y de la fábrica predominante. Considerando unas bóvedas de espesor constante como el aparente de las boquillas y sin contar con las contrabóvedas de hormigón dispuestas en la intervención de 1960, el mecanismo de colapso de la estructura por aparición de cuatro rótulas plásticas se produciría en teoría con las magnitudes de cargas puntuales indicadas en el cuadro siguiente en función del módulo de elasticidad del relleno de las bóvedas. Estas cargas actuarían además de las cargas permanentes así como de una sobrecarga uniforme de 4 kN/m^2 en la posición más desfavorable. Todo ello

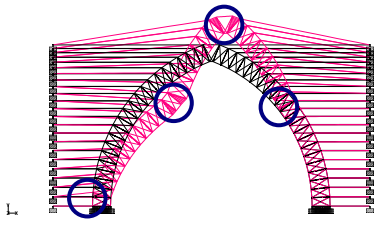


Fig. 8.- Esquema de colapso

para una tensión admisible de la fábrica de 20 MPa, límite inferior usualmente utilizado para este tipo de obras.

$E_{relleno}$	$P_{colapso}$
10 MPa	450 kN
40 MPa	550 kN
100 MPa	800 kN

La evaluación era del lado de la seguridad al concentrar puntualmente la sobrecarga y no tener en cuenta la contribución de los tímpanos, por lo que se consideró que la estructura no tenía comprometida su capacidad portante si bien su durabilidad sí estaba seriamente afectada. Por otra parte la geometría real de las bóvedas comprobada durante la obra estaba muy alejada de las suposiciones iniciales lo que a la postre invalidó el análisis.

Los ensayos de caracterización de las muestras tomadas de la fábrica indican gran dispersión de la resistencia a compresión y desde luego suponen que la piedra es de calidad reducida por lo que se confirma que es razonable mantener una limitación de uso si bien algo menos estricta que la existente antes de la intervención.

2. REHABILITACIÓN DEL PUENTE

Las actuaciones de rehabilitación desarrolladas se pueden encuadrar en varios capítulos de acuerdo con su finalidad primordial.

REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL

a) Refuerzos estructurales y reposición del trabado de las bóvedas.

b) Consolidación de la fábrica, cosidos y reposición de volúmenes de piedra desaparecidos así como de rejuntados.

c) Eliminación de sales y protección frente a la humedad y los agentes contaminantes.

REHABILITACIÓN FUNCIONAL Y DE DURABILIDAD

a) Sustitución del relleno del puente.

b) Diseño y ejecución de sistemas de drenaje, impermeabilización y vialidad.

REHABILITACIÓN ESTÉTICA Y DE LOS ELEMENTOS DE VIALIDAD

a) Reposición de pretiles, barandillas, pavimentos e iluminación del puente.

b) Disposición de elementos de protección del tráfico peatonal.

c) Rehabilitación y limpieza de elementos ornamentales del puente –hornacinas, impostas, etc-.

Por otra parte, hay que indicar cual ha sido la filosofía de la intervención, resumida en los siguientes puntos:

a) Mantener el mecanismo estructural incólume, rehabilitando la propia función estructural del puente. Se consideran poco adecuadas, siempre que sea posible evitarlas, las tendencias a enmascarar un sistema estructural nuevo en el interior del puente rehabilitado, dejando este solo como una cáscara vacía sin función aparte de la ornamental.

b) Mantener los materiales constitutivos, reponiendo en su caso los materiales originales de forma que el espectador pueda visualmente pero sin estridencias distinguir entre el material original y los aportes de la intervención.

2.1. Rehabilitación estructural

2.1.1. Bulonamientos y cosidos generales de las bóvedas

Reponer la trabazón entre los tímpanos y las bóvedas del puente así como el monolitismo de la bóveda de Levante era ya en el proyecto original una de las actuaciones principales en orden a garantizar el adecuado funcionamiento de la estructura. Esto se consigue mediante bulonamientos transversales ejecutados

tras perforar la bóveda con taladros de 9,8 m de longitud, adecuadamente

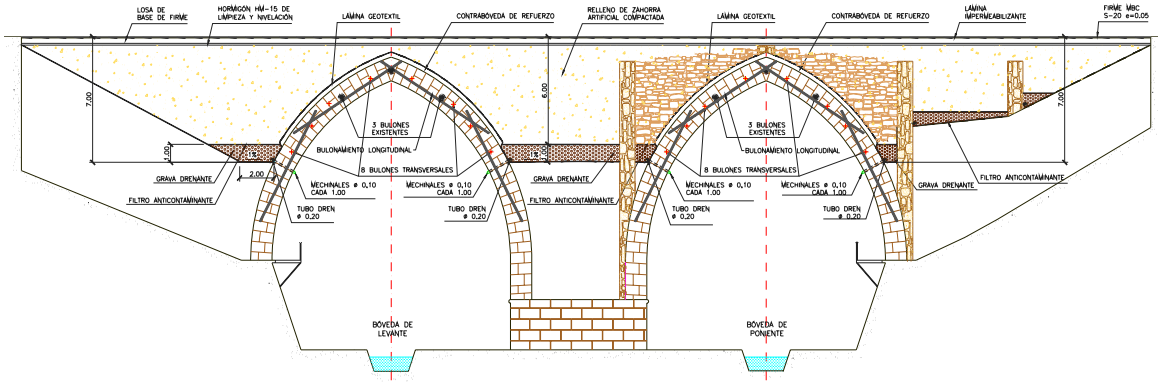


Fig. 9.- Esquema de refuerzo

rematados en las boquillas, y coserla con barras de acero inoxidable.

Las dificultades inherentes a la ejecución de una cimbra cuajada para ambos arcos derivadas sobre todo de exigencias hidrológicas aconsejó extender esta actuación con unos cosidos de seguridad en planos longitudinales que garantizasen la estabilidad durante el vaciado del puente además de suponer una mejora permanente para la función estructural propia de las bóvedas. Para ello se realizaron dos familias de anclajes al amparo de las cuales se llevó a cabo el vaciado del puente. La familia superior, compuesta por 6 anclajes en cada semibóveda de unos 9-10 m de longitud se realizó desde clave. La segunda familia, de 4 anclajes por semibóveda, se ejecutó una vez descubierto el trasdós de la primera parte de la bóveda correspondiente.



Fig. 10.- Bulonamiento transversal

Los bulones se materializaron mediante taladros de 10 cm de diámetro perforados a rotación, con extracción de testigo y colocación posterior de un anclaje “CINTEC”, patente anglosajona compuesta por una barra con sendas placas de anclaje en sus extremos dispuesta en el interior de un elemento textil a modo de calcetín con un sistema de inyección y purga que permite, una vez colocado en posición, rellenarlo a

presión de unos 2-3 bares con un mortero especial cementoso que rellena el taladro completamente formando un nervio continuo a través de la bóveda. El textil confina el mortero facilitando la eliminación del agua sin dejar coquera alguna y se adapta no solo al taladro sino a las irregularidades que éste pueda tener al atravesar las juntas de la sillería, trabando así satisfactoriamente los elementos pétreos.

2.1.2. Cosido de grietas

Todas las grietas de la fábrica se cosieron con fibra de vidrio y se rellenaron con mortero de resina con o sin carga de arena en función de su calibre. Superficialmente se completaron los rellenos con mortero pétreo si la grieta era de fractura o con mortero de rejuntado si discurría por llaga o tendel. El relleno se hizo a presión con o sin respaldo previo de acuerdo con la geometría de la sección de cada grieta. En los tramos de apertura importante se cajeó y se repuso en superficie el volumen de piedra.

2.1.3. Consolidación de la fábrica

La exfoliación sufrida por la fábrica de la bóveda de Levante por la migración de las sales hacia la superficie de la piedra –cloruros, sulfatos y hasta nitratos-, la arenización por degradación de la cementación de las piezas más expuestas tanto a la contaminación como a la corrasión y a la erosión fluvial durante las avenidas, las alveolizaciones y alteraciones vermiculares producidas por la erosión que abundan tanto en la bóveda de Levante como en los tajamares de la pila; así como algunas actuaciones contraproducentes llevadas a cabo en el pasado como el relleno de alveolos con cemento y el rejuntado con mortero de cemento Pórtland excesivamente rígido, contaminante e impermeable, han producido un deterioro superficial de la fábrica que ha sido necesario atajar para que no se sigan produciendo las notables pérdidas de material que han venido sucediéndose durante la vida del puente. Es evidente que una bóveda de 60 cm de espesor como tiene en la zona de clave no puede permitirse el lujo de seguir perdiendo capas de 10 mm de espesor.

La consolidación se ha desarrollado en varias etapas. La primera, la eliminación de las lajas irrecuperables por la presencia de una capa de sales depositada bajo las mismas. Después, la eliminación de sales superficiales e

inhibición de la migración de las sales de la piedra mediante un producto específico que posee además cierto potencial consolidante.

Posteriormente, se limpiaron las sales de saturación que aparecen en superficie como consecuencia de la acción de la aplicación anterior. Esta limpieza se hace simplemente con agua nebulizada.

En cuarto lugar se aplicó un consolidante basado en éster de sílice en suspensión con hidrocarburos por impregnación. Aumenta considerablemente la resistencia mecánica perdida en la superficie creando una red cristalina de partículas de sílice resistente a los ácidos contaminantes que restablece la adhesión entre partículas perdidas por descomposición del cemento calizo.

En último lugar, se llevó a cabo una hidrofugación generalizada de la fábrica mediante un hidrocarburo alifático siliconado para proteger a ésta de la humedad externa y de sus peligros inherentes por reacciones químicas de solubilización de sales, heladicidad, etc. todo ello sin afectar a la traspirabilidad al vapor de agua. La hidrofugación actúa asimismo como consolidante superficial acentuando la acción del tratamiento anterior en las zonas donde se aplicó éste.

2.1.4. Reposición de volúmenes de piedra y rejuntados

Parte importante de la rehabilitación estructural del puente ha sido la eliminación de los morteros cementosos inadecuados por su rigidez, por aportar sales perjudiciales a la fábrica y por falta de transpirabilidad, que con el tiempo se han ido reponiendo en la fábrica de sillería sobre todo en el tramo inferior de la pila. Estos se han sustituido en las partes bajas de la pila, expuestas a fenómenos de humectación por capilaridad, por morteros cementosos de base puzolánica, muy permeables, formados por CEM-V mezclados con aireantes tipo “Drymur”. En el resto de la sillería se ha repuesto un mortero de rejuntado basado en cal aérea mezclado con arena de hasta 3 mm de granulometría con



Fig. 11.- Detalle de erosión en pila

compatibilidad comprobada con la coloración de la fábrica. Esta coloración no es lógicamente la misma en la fábrica saturada y la sometida a humedad ambiente pero de acuerdo con la filosofía expuesta en la introducción, en ningún momento se ha perseguido ocultar la intervención sino que ésta se puede apreciar pero con discreción.

Además de la reposición del mortero de rejuntado en llagas y tendeles en que éste se ha eliminado previamente o bien ha desaparecido, es de mencionar la reposición de volúmenes que se ha llevado a cabo en algunos puntos. Esta reposición ha sido no obstante la excepción y se ha limitado a algún refuerzo puntual en la reparación de alguna grieta en algún punto en que la apertura de ésta aconsejaba esta actuación, a la reposición de alguna pieza desaparecida y al refuerzo de alguna hilada de sillares con enormes alveolos en la línea de acción de la corriente fluvial, donde se ha repuesto el volumen superficial mediante aplacado de 10-15 m de espesor anclado a la piedra actual, una vez regularizada ésta superficialmente y consolidada. Para las reposiciones de piedra se analizó la posibilidad de reabrir la cantera original, hoy por supuesto cerrada, pero los grandes gastos que esto originaría para extraer una muy reducida cantidad de piedra aconsejó elegir una piedra en explotación. Se seleccionó por sus características favorables la Bateig tipo “Llano”.

2.2. Rehabilitación funcional

2.2.1. Sustitución del relleno y drenaje interior del puente

La excavación y vaciado del puente hasta las cotas previstas se ha ejecutado con medios muy ligeros, en ocasiones manuales, y se ha coordinado con la ejecución de los anclajes citados en el apartado dedicado específicamente a la rehabilitación de la estructura como tal. Es de todas formas de destacar que todas las actuaciones estaban imbricadas en un objetivo común indivisible en realidad entre la pura rehabilitación estructural y funcional.

El vaciado del puente, en realidad una verdadera excavación arqueológica, ha destapado por otra parte la historia de su ejecución. Han aparecido las cadenas de ambas bóvedas, los retallos y los mantos de mampostería ordinaria dispuestos como refuerzo de trasdós a varias alturas de ambas bóvedas, los

muros transversales de rigidización y el “esqueleto” en fin del puente fruto de sus diferentes etapas de construcción.

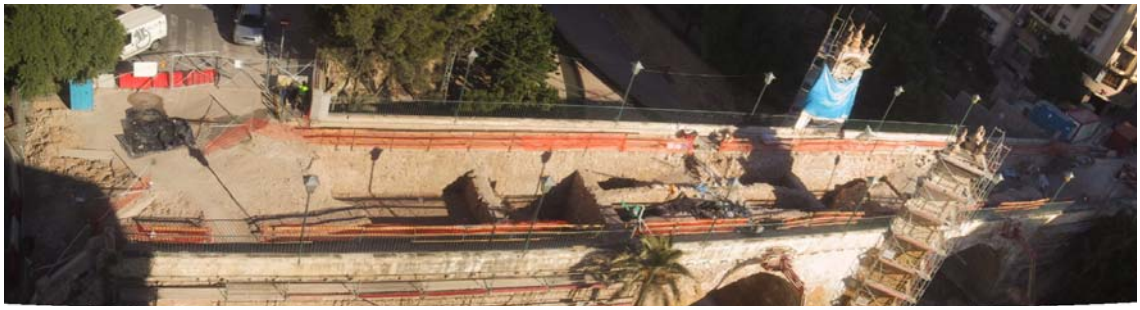


Fig. 12.- Vaciado. Vista general

El vaciado condujo a la reconstrucción de algunos elementos deteriorados, a la planificación y ejecución de algunos cosidos adicionales con anclajes “CINTEC” en zonas de destrabamiento de aletas en el lado poniente, al relleno de algunas grietas visibles en trasdós en la unión de los tímpanos con las bóvedas y al diseño y ejecución de una infraestructura de drenaje y evacuación de agua absolutamente a la medida de la configuración encontrada en el interior del puente.



Fig. 13.- Vaciado. Vista desde bóveda de Levante

El nuevo relleno se separó de la base preexistente con geotextil. Se dispusieron taladros de drenaje laterales y frontales de cada zona de posible acumulación de agua freática. Se rellenaron los espacios inferiores ocupados por la red de tubos con material filtro que volvió a envolverse superiormente con geotextil para aislar el nuevo relleno del antiguo. Sobre él se dispuso un relleno compactado de zahorras hasta la base del firme.

2.2.2. Impermeabilización y drenaje de la plataforma



Fig. 14.- Drenaje y relleno

Sobre el relleno repuesto al nivel de la coronación de los tímpanos se ha extendido una lámina impermeabilizante tipo LBM-50 de gran calidad en toda la superficie de la plataforma resultante. Esta lámina solo es atravesada por los desagües de calzada y de base de aceras previstos para drenar la plataforma. La lámina se ha adherido asimismo lateralmente a la base de los pretiles que constituyen las paredes interiores de los conductos de servicios que se han ejecutado bajo las aceras. La estanqueidad conseguida ha sido muy satisfactoria.

2.2.3.- Firme y vialidad

Sobre la impermeabilización se ha construido en la banda de calzada una losa de hormigón armado en cuatro tramos separados por juntas de dilatación con perfil de estanqueidad en cuyos extremos se han dispuesto unos elementos tipo “Goujon” que garanticen la continuidad geométrica con la base del pavimento en los tramos de acceso. En las franjas peatonales se han ejecutado conductos para un elevado número de servicios:



Fig. 15.- Ferrallado de la losa de firme

telefonía, fibra óptica, alumbrado, abastecimiento de agua, línea eléctrica de media tensión, semaforización, etc. Todos ellos se han ocluido en prismas de hormigón en masa y se han dispuesto las arquetas correspondientes en los

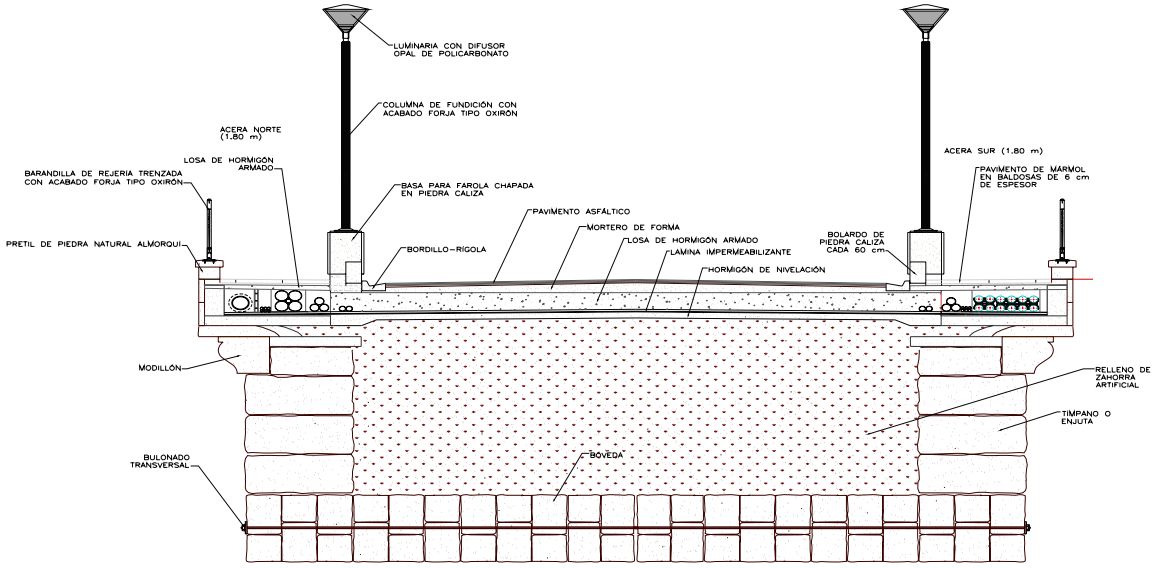


Fig. 16.- Sección transversal acabada

extremos del puente. Sobre las galerías de servicios se ha construido una losa de hormigón armado de 6 cm de espesor mínimo que constituirá la base de la acera y servirá asimismo de tirante entre la losa de calzada y los pretiles de borde. Para ello se ha anclado convenientemente a los muros laterales actuales.

2.3. Rehabilitación estética

En un elemento patrimonial valioso como el que nos ocupa la rehabilitación estética es no solo precisa sino obligada por la necesidad de desmontar



Fig. 17.- Nueva plataforma



Fig. 18.- Detalle de basa para alumbrado

previamente todos los elementos de vialidad del puente. De esta forma ha sido necesario reponer el pavimento de calzada y aceras, los pretiles, los elementos de alumbrado público, elementos para los que se han seleccionado materiales adecuados. Asimismo era deseable disponer elementos de protección del tráfico peatonal, cuestión que se ha conseguido mediante la colocación de bolardos de piedra caliza en una secuencia acompasada con las basas sobre las que se han colocado las luminarias y cuya base de hormigón, chapada de piedra, ha servido además para disponer unos elementos decorativos realizados por un ilustre artista ilicitano hoy desaparecido.

Por último, conviene citar la rehabilitación y limpieza de los elementos ornamentales del puente: hornacinas situadas sobre ambos tajamares de la pila, dedicados a Nuestra Señora de la Asunción, la norte, y a San Agatángelo, la sur, así como las impostas y cornisas de la pila. Se han repuesto volúmenes en estos elementos manteniendo visible sin estridencias la diferencia entre los volúmenes nuevos y los originales y se han limpiado, consolidado y se han restaurado las imágenes y elementos decorativos.





3. FICHA TÉCNICA

Administración:	Ayuntamiento de Elche
Construcción:	INTERSA LEVANTE, S.A.
Proyecto y Dirección de Obra:	TORROJA INGENIERÍA, S.L.
Fecha de ejecución:	Agosto/2004-Mayo/2005
Rehabilitación de la fábrica:	EDYCON
Luz de cada arco:	14 m
Longitud total puente:	77 m
Anchura:	11,05 m